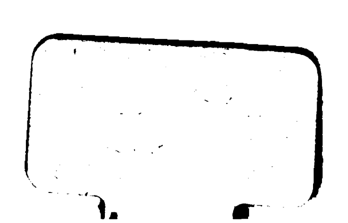






Geschichte der Bergbau- und Hüttentechnik.

Erster Band.

Geschichte

der

Bergbau- und Hüttentechnik.

Von

Dr.-Ing. Fr. Freise.

Erster Band: **Das Altertum.**

Mit 87 Textfiguren.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1908.

Altenburg
Piererische Hofbuchdruckerei
Stephan Geibel & Co.

Vorwort.

Mit dem auf den folgenden Blättern begonnenen Werke, welches die technische Entwicklung des Bergbaus und des Hüttenwesens zu schildern bestimmt ist, beabsichtigt der Verfasser weniger, eine bei dem heute wieder sehr regen Interesse an geschichtlichen Forschungen im Gebiete der Technik vielleicht »fühlbar gewordene Lücke« zu füllen, als vielmehr, soweit dies überhaupt ein einzelner vermag, die bisher noch wie ein Haufwerk zusammenhangloser Steine verstreuten, oft in der Hand zerbröckelnden Tatsachen durch ein geistiges Band in gegenseitigen Konnex zu bringen.

Wie Altertums- und Völkerkunde unentbehrliche Hilfswissenschaften der Weltgeschichte geworden sind, so muß sich auch die Geschichte der Bergbaukunst zur Betriebsgeschichte von Gruben und Bergbaurevieren verhalten, und erst dann wird sich diese zu ihrem letzten und höchsten Zwecke, zur Beurteilung verlassener Grubenfelder und zur Wiederaufnahme alten Bergbaus die Hand zu bieten, entwickelt haben, wenn ihr die Geschichte der Bergbaukunst zur Seite steht. Denn erst dann vermag man aus den alten Gruben und deren Resten die schärfsten Schlüsse zu ziehen, und nur nach genauer Kenntnis des Werdeganges unserer heutigen Technik können sich verlassene Gruben als chancenreich empfehlen, selbst solche, über die jede historische Überlieferung schweigt.

Im günstigsten Falle verhält sich zur Betriebsgeschichte des Bergbaus seine Kunstgeschichte wie das lebendig sprudelnde gesprochene Wort zum toten Buchstaben schriftlicher Darstellung, und auch dies nur, wenn beide Zweige der Überlieferung in gleichem Grade der Vollständigkeit vorliegen. Wie oft ist aber nicht die Betriebsgeschichte sagenhaft, nur verschwommen umrissen, unvollständig und mehr oder weniger unzuverlässig!

Die archäologischen Forschungen sind im Gegensatze hierzu weit wertvoller, weil sie als Grundlage sichtbare Gegenstände betrachten, eine Fülle von ungehemmten Äußerungen pulsierenden Lebens, die nicht durch den Lauf der Zeiten in ihrer Beweissicherheit gemindert

wird. So vermag die Bergbauarchäologie im einzelnen praktischen Falle vollwertigen Ersatz für den Mangel an Geschichte zu leisten, nicht aber kann für den Mangel an archäologischem Material Ersatz in historischen Nachrichten gesucht werden.

Stoff zu bergbauarchäologischen Arbeiten liegt in alten Bauen, Halden und Pingen in allen Teilen der Welt vor, möchte er nur etwas weniger verkannt und um so öfter dem Schicksale des Vergessenwerdens durch systematische Durchforschung entrissen werden!

Den Stoff des Themas beabsichtigt Verfasser in zwei Teilen vor zulegen, von denen der erste die Technik des Berg- und Hüttenwesens im Altertum umfaßt, während der zweite Teil die spätere Zeit bis etwa um 1770, zum anbrechenden Zeitalter der Dampfmaschine, behandeln soll. Von einer Bearbeitung der späteren Zeit, bis etwa zum Ende des XIX. Jahrhunderts, wurde nicht so sehr wegen der großen Stoffülle, sondern aus dem Grunde abgesehen, weil der moderne großartige technische Aufschwung, auf manchen Gebieten noch nicht abgeschlossen, eine historische Würdigung kaum zuläßt, andererseits aber auch in den Spezialwerken der Berg- und Hüttentechnik seine Behandlung gefunden hat.

Innerhalb eines jeden Teiles soll eine Scheidung nach den Disziplinen: Bergbautechnik, Aufbereitungswesen, Hüttentechnik, Platz greifen.

Darnach aber mag das Werk für sich selber Zeugnis ablegen; mit diesem Wunsche übergibt es der Verfasser der Öffentlichkeit, indessen nicht ohne den Förderern desselben den schuldigen Dank auszusprechen.

Neben meinem verehrten Lehrer, Geh. Bergrat Prof. Lengemann-Aachen, und meinem väterlichen Freunde Dr. A. Gurlt-Bonn, denen ich vielseitige Anregung verdanke, welch beide aber leider bereits für die Wissenschaft zu früh ihre letzte Schicht verfuhren, gedenke ich hier der Herren Prof. Hoppe-Clausthal, Prof. Treptow-Freiberg, Dr. L. Beck-Biebrich und nicht am letzten des Hüters der literarischen Schätze der Kgl. techn. Hochschule zu Aachen, des Kgl. Bibliothekars H. Peppermüller, deren stets bereite Hilfe meiner Arbeit eine Ursache wesentlicher Vervollständigung geworden ist.

Ihnen allen ein dankbares Glückauf!

Frankfurt a. M., Oktober 1907.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Die Bergbautechnik im Altertum.

Einleitung.

Ursprung und Verbreitung des Bergbaus.

Der antike Bergwerksbetrieb kannte eigentlich nur sieben Metalle, deren Erze bergmännisch bearbeitet wurden; von diesen ist das Gold, weil es zu den wenigen Metallen gehört, die in der Natur bei außerordentlicher Verbreitung größtenteils gediegen vorkommen, und weil es in diesem Zustande außerordentlich geeignet ist, schon durch seine äußere Erscheinung die Aufmerksamkeit des Menschen auf sich zu lenken, dazu aus dem Sande vieler Flüsse und Seifengebirge unschwer gewonnen werden kann, jedenfalls das erste gewesen, welches den Menschen zur Bergarbeit anlockte. Diese sich rein aus der Art des Vorkommens ergebende Wahrscheinlichkeit wird durch die Geschichte genugsam bestätigt; von den ersten Anfängen menschlichen Geschehens bis hinauf zu dem aus phantastisch ausgeschmückten Überlieferungen mühsam herausgeschälten Körnchen Wahrheit ist das Gold mit dem Wandel des Menschen aufs innigste verknüpft. Das Ophir der Bibel, das Goldvließ der griechischen Mythologie, das Ameisen- und Greifengold der Inder und einäugigen Arimaspuer, alle diese in das Gewand der Sage gekleideten Überlieferungen bekunden nicht nur die überaus alte Kenntnis vom Golde, sondern werfen auch zum Teil ein recht klares Licht auf die Art seines Bekanntwerdens und seiner Gewinnung.

Wer zuerst den Spuren des gelben Metalles auf und in der Erde nachging, ist unbekannt, ob es die Turanier am Abhange des Altai, ob es die Arier Indiens oder die Negritier Afrikas waren, ist nicht zu unterscheiden; jedenfalls ist allenthalben zugestanden, daß das Gold das älteste aller Metalle war, und in diesem Sinne lassen auch die Archäologen das goldene Zeitalter Hesiods gelten.

Das Suchen nach Gold brachte die Menschen in neue Beziehungen zur Natur, zumal deshalb, weil das Gold in der Natur mit fast sämt-

lichen anderen Metallen vergesellschaftet vorkommt. Magneteisen und Zinnstein kommen mit den Goldflitterchen zusammen im Sande der Flüsse und Seifen vor; Kupfer, Silber und Blei vereinigen die Haupterze dieser Metalle, Kupferkies, Bleiglanz und deren Umwandlungsprodukte, mit dem Gold. Das Ausschmelzen dieses Metalles aus den Erzen oder dem Sande konnte darum leicht auch zur Kenntnis der anderen Metalle führen.

Bedeutend mehr Schwierigkeiten hat die Frage nach dem ältesten Nutzmetall geboten. Schon in sehr alter Zeit haben sowohl Kupfer als Bronze als auch Eisen Anwendung zu Waffen und Werkzeugen gefunden. Eine vielverbreitete Anschauung ist die von dem höheren Alter des Kupfers und der Bronze gegenüber dem Eisen, hervorgerufen einerseits durch die Ergebnisse der Ausgrabungen, dann aber auch durch die Ansichten und Mitteilungen der alten Poeten und Schriftsteller. Wenn man in den Altertumsfundstätten Kupfer und Bronze in zahllosen, Eisen indes in relativ wenigen Fällen fand, so ist der Grund nur darin zu suchen, daß das Eisen in feuchtem Erdreich sehr leicht total durch Rosten vernichtet wird, während Gegenstände aus Kupfer oder gar aus Bronze dem Untergang lange widerstehen.

Von den alten Autoren war es zuerst Hesiod, der der Lehre von der Aufeinanderfolge mehrerer Metalle Ausdruck gegeben hat. Er kennt seit Erschaffung der Welt fünf Ären, das goldene, das silberne, das eherne, das Zeitalter der Heroen und endlich das eiserne, in dem die Gegenwart lebt. Auch Lucretius vertritt diese Ansicht, die er mit den Worten vorlegt: „Sed prius aeris erat quam ferri cognitus usus“ (Cursus de rer. nat. V, 1286). Diese Reihenfolge der Metalle bezw. der Zeitalter findet sich indes auch bei Indern und Persern, sogar die alten Mexikaner nahmen vier ähnliche Weltperioden an; die Anschauungsweise erklärt sich einfach aus dem dem Menschen eigenen Bedürfnisse, die Vergangenheit als besser als die Gegenwart anzusehen, ist aber durchaus hypothetisch und durch sachliche, namentlich metallurgische Argumente zu widerlegen.

Die Bronze ist als Legierung von Kupfer und Zinn nur aus dem Zusammenschmelzen von metallischem Kupfer mit Zinn, nicht aber aus dem Einschmelzen von zufällig beide Metalle enthaltenden Erzen zu erzeugen. Die Bronzebereitung setzt demnach das Darstellen von Kupfer aus den Erzen voraus. Daß das Kupfer lange bekannt war, bevor die Bronze aufkam, steht außer Zweifel; die Frage würde also nunmehr die sein, ob das Kupfer älter sei als das Eisen.

Technische Gründe befürworten nicht ein höheres Alter des Kupfers. Zwar kommt es gediegen vor, äußerst selten indes in Massen, aus denen man das gewünschte Werkzeug ohne weiteres her-

stellen kann; ein solches Beispiel bietet nur das Kupfer vom Oberen See in Nordamerika, aus dessen großen Klumpen die Indianer der Umgegend durch einfaches Ausschmieden Werkzeuge schaffen konnten, ohne indes, wie es allen Anschein hat, mit dem Ausschmelzen des Metalls bekannt zu werden. Für die Metallerzeugung im Großen kommt aber nur das Ausschmelzen von Erzen in Betracht. Die Kupfererze sind aber weit seltener und schwieriger zu gewinnen als Eisenerze, wenn sie sich auch als Oxyde durch lebhafte blaue oder grüne oder metallglänzende Farben vor jenen auszeichnen. Die Sulfide des Kupfers können viel weniger in Betracht kommen, da sich ihrer Bearbeitung auf Metall bedeutend größere Schwierigkeiten entgegenstellen. Aus den Oxyden des Kupfers aber ist das Metall durch eine analoge Behandlung zu gewinnen, wie das Eisen aus seinen Oxyden, nämlich durch Reduktion mit Kohlenstoff (im Altertume Holzkohle); ein Hauptunterschied ist nur die wesentlich verschiedene Temperatur zum Ausschmelzen. Um Kupfer zu erhalten, muß man die Oxyde bis über den Schmelzpunkt des Metalles, d. h. bis über 1200°, erhitzen; Eisen erfolgt dagegen infolge des Weichwerdens vor dem Schmelzen bereits bei einer Temperatur von 650—700° als eine zwar nicht reine und geschmolzene, sondern als eine lose zusammenhängende, schwammige Masse, die sich durch wiederholtes Glühen und Ausschmieden von den Schlacken befreien und zu einem schmiedbaren Material verarbeiten läßt.

Bei den unvollkommenen Hilfsmitteln der antiken Metallurgie machte es aber einen gewaltigen Unterschied, ob die Metallerzeugung bei 700° oder bei 1200° auszuführen war. Deshalb dürfen wir wohl behaupten, daß technische Gründe nicht vorliegen, dem Kupfer ein höheres Alter als dem Eisen zuzuschreiben, daß vielmehr alles für die Priorität des Eisens spricht. Uns möge indes hier das geschichtliche Faktum genügen, daß Kupfer und Eisen den ältesten Kulturvölkern bei ihrem Eintritt in die Geschichte bereits bekannt waren.

Wer von den alten Kulturvölkern Eisen und Kupfer zuerst gegraben und verschmolzen habe, ist nicht zu sagen; Ägypten, Vorderindien, der malaiische Archipel und Hinterindien, das chinesische Reich und der turanische Norden Asiens stehen in dieser Frage als selbständige metallurgische Reiche nebeneinander. Von Vorderindien und Ägypten aus scheint sich die Kunst des Bergbaus auf diese Metalle und die Verarbeitung derselben auf die Semiten Asiens, von diesen auf den europäischen Kulturkreis übertragen zu haben.

Wie steht es dagegen um die Bronzefrage? Die Kenntnis der Bronze setzt die des Kupfers voraus; bei den Völkern, welche selbständig zur Erfindung der Bronze geführt wurden, muß daher der

Bronzezeit eine Kupferzeit vorausgegangen sein. Dies bestätigt sich auch bei allen metallurgisch originellen alten Kulturvölkern, z. B. Ägyptern, Indern, Chinesen. Anders verhält es sich indes bei jenen Völkern, denen die Metalle aus anderen Gegenden zugeführt werden.

Das Zinn ist ein relativ seltenes Metall; die für die antike Metallurgie wichtigen Fundstätten sind der Parapamisus, Hinterindien und der Archipel, ferner Spanien und Cornwall. Auf den Ursprungsort der Zinngewinnung führt uns der griechische Name des Metalls, Kassiteros. Er stammt aus Asien und zwar aus den semitischen Sprachen und ist von diesen in das Sanskrit als Kastira übergegangen. Arabisch und aramäisch heißt das Metall Kasdir; es scheint also, daß den Semiten das Zinn am ehesten bekannt geworden ist, wenn wir auch nicht nachweisen, sondern nur vermuten können, wo sie es gewonnen haben. Es scheint sehr möglich, daß es durch Landhandel aus dem Gebiete der Drangen am Parapamisus oder auch durch Küstenschiffahrt nach dem Persischen und Arabischen Meerbusen und von da nach dem Westen gekommen ist. Die Erfindung der Bronze scheint dagegen nicht aus Indien zu stammen; vielmehr ist anzunehmen, daß von den Semiten Westasiens, möglicherweise auch von der turanischen Urbevölkerung des unteren Euphratlandes zuerst Bronze dargestellt wurde. Ihre große Bedeutung für die Kultur, ihre allgemeine Anwendung und Verbreitung erhielt sie aber erst durch die Seefahrten der Phönizier.

Zugleich mit den Phöniziern erscheinen als seehandeltreibendes Volk des östlichen Mittelmeeres die Karer, bald als Bundesgenossen, bald als Gegner der Phönizier. Sie sind ein wahrscheinlich nicht indogermanisches Volk Kleinasiens, am südwestlichsten Teil der Taurushalbinsel wohnend, die mit ihren zahlreichen Buchten, Häfen und vorliegenden Inseln der Schiffahrt einen überaus günstigen Boden zur Entwicklung bot. Im Gedächtnisse der Griechen finden wir die Karer als Seeherrscher an der Küste Kleinasiens bis nach Lesbos hinauf, über den Archipel nach Hellas hinüber und im Bunde mit den Phöniziern selbst an der atlantischen Küste Lybiens. »Karische Mauern« werden außerhalb der »Säulen des Herkules« erwähnt.

Ungeklärt ist ihre ethnische Zugehörigkeit; Movers und Kiepert halten sie für Semiten, Kiepert gibt aber zu, daß die Eigennamen ihrer Sprache für ein nichtsemitisches Element das Wort reden, das etwa aus der Sprache der unterworfenen Leleger stammen kann. Von Herodot erfahren wir übrigens noch von einem zweiten vorkarischen Stamm, den Kauniern, von den Karern durch Sitte und Kultus, nicht aber durch die Sprache unterschieden.

Hommel zählt die Karer, Lydier, Lycier sowie die Ureinwohner

Griechenlands zu einer pelasgisch-alarodischen Sprachgruppe, die weder semitisch noch indogermanisch noch turanisch sein soll. Für die Stammesverwandtschaft mit den Lydiern sprechen die gemeinsamen Festfeiern der beiden Volksgenossenschaften. Ihre Kultur stand, wie die aller frühgeschichtlicher Völker Vorderasiens, unter dem Einflusse der Chaldäer und Assyrer, und ihr verdanken wir die ältesten Reste höherer Kultur auf griechischem Boden.

Diese Reste sind an zwei Punkten der Argolis in unvergleichlicher Fülle und Großartigkeit zutage getreten. Tiryns und Mykenä sind die Etappen des Vordringens asiatischer Kulturträger, an deren Burgen wir die als zyklopisch bezeichnete Bauart und die Dimensionen der Blöcke noch heute bewundern. Kanäle werden angelegt, Sümpfe ausgetrocknet, Seen in Kulturland umgewandelt, Tempel erbaut und fremde Götterdienste eingerichtet, die sich alle auf ägyptisch-phönizische Gottheiten beziehen. Von besonderer Bedeutung für uns ist Ptah-Hephaistos, der Schmiedegott, den die Hieroglyphen als ungeborenes, daher schwachfüßiges Kind darstellen (Hinweis auf den Bergbau als den in der Tiefe lebendigen Sprossen der Erde; auch auf seiner Wanderung zu den Griechen, Germanen und Slaven behielt er die schwachen Beine, auch Vulkan und Wieland — Welent — sind hinkende Gottheiten).

Gleich wichtig ist Hathor-Hekate-Isis, die Göttin der Unterwelt, und mit der Schwester Sate, der Oberraumgöttin, als Emanation der Urraumgottheit Pacht gedacht. Hathor ist Vorsteherin des Bergbaus und als solche schon von Chufu und seinen Vorgängern auf der Sinaihalbinsel dargestellt. Als Isis finden wir sie am Rhein und am nordischen Erzberge versinnbildlicht und in Inschriften dankend erwähnt.

Daß in der Tat ägyptisch-asiatische Auswanderer auf den metallreichen griechischen Inseln und auf dem Festlande der Balkanhalbinsel zuerst den Bergbau und die Metallbearbeitung betrieben, beweist die Nachricht, daß Daktylen und Telchinen zuerst auf Kreta und Rhodos Eisen schmiedeten; die Namen bedeuten nämlich nichts anderes als »Erzhauer« und »Eisenschmied«.

Das hohe Alter des Berg- und Hüttenbetriebes deutet aber die Sage an, daß die Stahlsichel des Kronos von den Daktylen und Telchinen verfertigt war.

Wie lebhaft sich der Hüttenbetrieb auf den Inseln des griechischen Meeres entfaltete, beweise aus der Fülle der Tatsachen nur die Benennung von Rhodos als Telchinis, von Lemnos als »Feueresse« (bei Anakreon).

Auf Andros lagern heute noch ca. 50000 t 30—35 % haltender Eisenerze als Zeugen eines langen und intensiven Bergbaus.

Weitere Entdeckungs- und Kolonisationszüge asiatischer Siedler gingen nach *Italien*. Hier waren es zunächst die enormen Eisenerzvorräte *Elbas*, die zur Bearbeitung reizten und nach deren Erschöpfung die Lagerstätten des Festlandes in Angriff genommen wurden, bis hier Holzmangel die Industrie zum Erliegen brachte und zunächst die *Etrusker* nach Inbesitznahme der Poländer in die reichen *norischen* Eisenerzfelder einrückten.

Den Etruskern folgten die Invasionen der Gallier, dann die Römer und nach diesen die Germanen.

Daß die Hellenen die Erben technischer Fertigkeit älterer Bergleute waren, erhellt außer aus den Sagenzyklen, welche die Taten eines Herakles oder Kadmos zum Gegenstande haben, aus der *Sprache der Bergbautechnik* und aus den Mysterienkulten, die an den Namen der *Kabiren* anknüpfen.

Die *Kabiren* oder *Patäken* (Παταικοί) sind die Kinder *Ptahs*, des Erbauers der Welt, dessen Name, *nicht* ägyptisch, sondern *phönizisch*, von patakh = öffnen abgeleitet ist und den Gott bezeichnet, der den Schoß der Erde öffnet, also die Metallschätze darbietet. Die Sitze des Kabirenkults waren Berytus, Tripolis, Orthosia, Tyros, Paltos, Samothrace, Kreta, Kasius in Ägypten, Memphis, Delos, Puteoli und eine Reihe von spanischen Städten. Selbst bis nach *Britannien* ist der Kultus gedrungen. Abgebildet erscheinen die Kabiren mit dem Leder oder im Schmiedeanzuge mit Hammer und Zange; sie deuten also unmittelbar auf Bergbau und Metallverarbeitung hin.

In wieweit die griechische Fertigkeit das von den Phöniziern überkommene Erbe des Bergbaus zu pflegen und zu mehren verstand, läßt sich mangels der Möglichkeit eines Vergleiches nicht genau feststellen. Immerhin kann man beobachten, daß sich der griechische Grubenbetrieb von dem in anderen Gebieten geübten etwas unterscheidet; in diesem Sinne kann man von einem den Griechen eigentümlichen, *selbständigen* Bergbau reden.

Bei der Betrachtung der kunstmäßigen Gestaltung des Bergbaus bei den *Römern* stoßen wir indes auf Schritt und Tritt auf die Tatsache, daß die Römer den Bergbau *um nichts* vervollkommnet haben, vielmehr, trotzdem sie jahrhundertelang an demselben ansässig waren, auf dem ursprünglichen und primitiven Standpunkte der Technik stehen geblieben sind. Man braucht nur die Kapitel zu lesen, die *Plinius* über das Bergwesen geschrieben hat. Abgesehen davon, daß er in manchem überhaupt äußerst unklar ist, zeigen schon die vielen, fremden und unbekannten Idiomen angehörigen und wahrscheinlich noch entstellten Bezeichnungen, deren er sich für Gegenstände des Bergbaus bedienen muß, daß die lateinische Sprache nicht

einmal über diese Benennungen verfügte, um die fremden Ausdrücke entbehrlich zu machen.

Selbst nicht der Ausdruck für Grube, metallum, bezw. metalla, ist urrömisch, vielmehr griechisch oder phönizisch; auch bezeichnet es sowohl Metall- als Steingruben, auch Kreide-, Alaun- und Schwefelgewinnungen. In den Pandekten heißen z. B. die Marmorbrüche »marmorum metalla«. Das spätlateinische mina, welches in die neueren Sprachen übergegangen ist, stammt nach v. Kobell von menare = betreiben, also mina = der Betrieb. Andere Erklärungen leiten es ab von den Sisaponensischen Zinnobergruben, die nach Plinius (XXXIII, 40) »miniariae Sisaponenses« hießen, woraus durch Elision mina, ursprünglich Miniumgrube, dann allgemein jedes Bergwerk gebildet sein könnte.

Dieser Mangel an Originalität hängt wohl mit der Abstammung des Römers zusammen, dem als staatswissenschaftlich und politisch gebildeten Bürger eines Ackerbaustaates jegliches Interesse an bergmännischen Unternehmungen abging, der vielmehr den Bergbau nur als Einnahmequelle zu schätzen wußte, deren Ausbeutung den daran ansässigen »Barbaren« zu überlassen sei. Eben dieser Interesselosigkeit ist es auch zuzuschreiben, daß die römischen Autoren kaum etwas über den Bergbau geschrieben haben, die meisten Aufzeichnungen darüber vielmehr von Nichtrömern zusammengetragen sind.

Weil fast alle Bergwerke der Alten Welt im Laufe von mehreren Jahrhunderten in die Hand der Römer kamen, wurde ihr Bergbau der verbreitetste, aber auch der am wenigsten eigentümliche. Die Eroberung von Mittelitalien, wo die Etrusker bereits regen Betrieb auf Metalle unterhielten, brachte Rom erst in den Besitz von Gruben, und erst kurz vor den punischen Kriegen kam die Prägung von Silbermünzen auf. Nach Besiegung der Kathager fielen ihnen deren Gruben in Sizilien, Sardinien und Spanien in die Hände. Durch die Kriege in den östlichen Ländern gelangten sie auch in den Besitz der Gruben in Kleinasien, Griechenland und Mazedonien, während ihnen die Bergwerke in Asien und Ägypten sowie in Nordspanien, Gallien, dem Rheingebiete und Britannien durch Cäsar, Pompejus und Augustus zufielen.

Unter Valens begann 375 n. Chr. die Völkerwanderung, die in mehr als ein Jahrhundert dauernden Kriegszügen das weströmische Reich zertrümmerte und damit die unter Roms Herrschaft ausgebildete Zivilisation fast vollkommen vernichtete sowie auch den Bergbau notwendigerweise zugrunde richtete.

Sucht man im mittleren Europa einen historischen Anschluß der weiteren Entwicklung des Bergbaus an die Römerzeit, so kann man ihn nur bei den seßhaft gebliebenen Stämmen der Alamannen, Franken

und Thüringer finden, also in den Tälern von Rhein und Main, am Thüringerwald, Frankenwald, Fichtelgebirge und Böhmerwald; man kann in der Tat nachweisen, daß die Wiege des deutschen Bergbaus in dem von der Völkerwanderung am meisten verschont gebliebenen Ostfranken gestanden hat.

Wenn demnach auch die Römer nicht unmittelbar die Lehrmeister der Barbaren gewesen sind, so waren sie es mittelbar, indem diese letzteren aus den Überbleibseln des römischen Berg- und Hüttenwesens, aus Werkzeugen, Öfen und Gerätschaften aller Art, die Kunst wiedererlernen konnten, welche die Römer bereits vor ihnen ausgeübt, und es ist aller Grund vorhanden, anzunehmen, daß sie es auch taten, wenn auch ein großer Teil der bergmännischen Kunstfertigkeit, die sich die Römer schon zu eigen gemacht hatten, wieder verloren ging und erst nach jahrhundertelangem Rückschlag wieder erfunden wurde.

In den dauernden Stürmen und Völkerkriegen des frühesten Mittelalters erlitt aber der Bergbau in den vormals römischen Ländern eine empfindliche Störung und Unterbrechung; nur in Deutschland hat er sich von seiner Wiedergeburt bis heute ununterbrochen fortgesetzt, und so wurde Deutschland die Schule der Bergbaukunst, nicht nur für Europa, sondern für die gesamte zivilisierte Welt.

I.

Die Bergbautechnik.

a) Aufsuchung von Lagerstätten, Schürfarbeiten.

Nur äußerst wenig ist bei den alten Autoren von der Ausbildung desjenigen bergmännischen Betriebszweiges zu finden, dessen Zweck die Feststellung des Vorkommens von nutzbaren Mineralien ist.

Sowohl die Ägypter als auch die Phönizier und die Griechen besaßen einige Kenntnisse in der Geologie und der Lagerstättenlehre; in Ägypten war eine Schule der Naturwissenschaften bei einem Tempel des Welterbauers Ptah in der Stadt On (Heliopolis); auch Plato und Herodot haben hier Unterricht genommen, wo die Geheimnislehrer der Tiefe Träger aller Kenntnisse dessen waren, »was der Erde verschlossener Abgrund birgt«. Man muß es also verstanden haben, nach gewissen äußerlichen Anzeichen, vielleicht den Ausblühungen des Bodens, dem Pflanzenwuchse oder ähnlichen Indikationen, das Vorkommen von nutzbaren Minerallagerstätten zu bestimmen, wenn auch in den meisten Fällen Zufall auf die Entdeckung eines Erzvorkommens geführt haben mag, wie z. B. die Sage dartut, welche den Mandrobulos auf Kreta durch einen Stier auf die Lagerstätte geleitet werden läßt, oder wie aus der strabonischen Mitteilung hervorgeht, daß in den Pyrenäen ein Landmann die anstehenden Erze mit dem Pfluge herausgebracht habe.

Die Indikation von Eisenerzlagerstätten durch Bodenfärbungen erwähnt z. B. Plinius d. Ä. ausdrücklich (Nat. hist. XXXIV, 142) mit den Worten: Ferri metalla ubique propemodo reperiuntur, minimaque difficultate agnoscuntur, colore ipso terrae manifesto.

Bestimmt lassen sich systematische Kenntnisse der Vorkommensweise von Erzlagerstätten bei den Phöniziern voraussetzen, sind diese doch das einzige Volk des Altertums gewesen, welches planmäßig auf Silber schürfte und an den Fundpunkten dann Bergbaukolonien anlegte. Solche Unternehmungen sind aber ohne jene Kenntnisse nicht denkbar, zumal das Silber nicht wie das Gold an der Erdoberfläche vorkommt, sondern aus Gängen gewonnen werden muß,



Geschichte der Bergbau- und Hüttentechnik.

Erster Band.

oberen Schacht ausgehauen, hatte den Zweck, die zum Göpelbetriebe nötigen Tiere in den Kammerraum zu schaffen.

Ähnliche Schachtbauten aus sehr alter Zeit sind ferner ein noch heute benutzter Brunnen zur Ansammlung von Tagewassern bei den Pyramiden von Gizeh, welcher gleichzeitig mit diesen Monumenten entstanden sein wird, ein von dem Sohne Ramses' II. erbauter Brunnen im Wadi Jasous, noch jetzt für den Hafen Annäum am Roten Meere gebraucht, der Davidsbrunnen zwischen Bethlehem und Jerusalem, endlich der über 3600 Jahre alte, 30 m tiefe und 3 m weite Jakobsbrunnen bei Sichem.

Diesen geschichtlich datierbaren Bauen stehen solche von ähnlich großen Formen zur Seite, deren Entstehung in prähistorische Zeit hinaufreicht. Wir denken hierbei an die Schächte, mit welchen die neolithische Bevölkerung den geschätzten Feuersteinvorkommen nachgegangen ist. An einigen Orten Frankreichs (Bas-Meudon bei Paris; Petit Morin, Marne; Nointel, Oise; Mur-de-Barrez, Aveyron), Belgiens (Spiennes) und Englands (Brandon) hat man diese Betriebsstätten gefunden. Die Schächte von Mur-de-Barrez liegen in den Süßwasserschichten an dem Ufer des in die Truyère fließenden Goult, in einem Terrain mit zahlreichen Feuersteinbänken in horizontaler Lagerung. An der Mündung sind sie etwas erweitert, in ihrem Verlauf nicht ganz vertikal. Minderwertige Feuersteinbänke wurden übergraben, bis man eine tiefere Lage fand, deren Knollenmaterial alle wünschenswerten Eigenschaften besaß.

Bei Brandon sind auf einer ca. 20 Morgen großen Fläche 254 Schächte von mehr als 6 m Weite und ca. 15 m Teufe durch ein oberes minderwertiges Flintlager in eine tiefere Schicht mit härterem Feuerstein getrieben worden. An der Sohle sind die das Lager aufschließenden Strecken aufgefahren worden.

Im Gegensatz zu diesen Bauen finden wir bei den übrigen bergbautreibenden Völkern des Altertums nur mäßig große, nach unseren Begriffen sogar meist sehr enge Schachtbauten.

Im laurischen Gebiete sind ursprünglich wohl an 2000 brunnenartige Schächte vorhanden gewesen, wenn auch der moderne Betrieb manche derselben vernichtet oder umgestaltet hat, so sind doch noch so viele erhalten, daß man eine deutliche Vorstellung von ihnen gewinnen kann. Durchweg sind sie in rechteckigem Grundrisse abgeteuft und haben 1,25·1,4 bis 1,5·1,9 qm Querschnitt. Sehr alte Schächte, z. B. bei Kamarésa, sind halbrund mit 1,9—2,0 m Durchmesser abgeteuft. In diesem Falle handelt es sich aber zumeist um nicht saigere Schächte. Vollkommen lotrechte Baue sind überhaupt relativ selten;

meistens decken sich Schachtmündung und -Sohle nur so weit, daß eine Achsenabweichung von etwa 10° erkennbar ist.

Die Teufe der heute noch vom Volke als φρέατα, Brunnen, bezeichneten Anlagen ist nicht allenthalben die gleiche; die tiefsten gehen bis 111 m. Die Schächte im Tale Beréko sind 15—45 m, die in Kamarésa 25 — 55 m, die im östlichen Gebiete von Thérikos und Ergastiria 10—35 m tief.

Die senkrechten Schächte haben meistens mit tonnlägigen in Verbindung gestanden. Etliche Schächte beginnen schief, um bei etwa 5 m Tiefe in die senkrechte Richtung überzugehen; an anderen Stellen sind knapp nebeneinander zwei Schächte abgeteuft worden, von denen der eine, um mehrere Meter kürzer, an der Sohle mit dem anderen durchschlägig gemacht war und diesem als Wetterschacht diente. Letzterer weist meist nur 60—80 cm Weite auf, so daß man fast zu der Annahme versucht sein mag, daß ein solcher Bau, dessen kaminartige Beschaffenheit einer Abteufarbeit sehr ungünstig sein mußte, durch Aufhauen hergestellt worden sei.

In den tonnlägigen Schachtpartieen findet man allenthalben sorgfältig ausgehauene Trittstufen mit Rast- und Ausweichstellen für die Fördersklaven; kleine Rinnen und muschelartige Vertiefungen auf der Sohle dienten zur Sammlung des aus dem Gestein hervorsickernden Wassers. Bei den senkrechten Schächten zeigen sich Bühnlöcher in den Stößen, die entweder zur Lagerung von Bühneneinstrichen gedient haben oder vielleicht als Einsatzlöcher für die zur Förderung und Befahrung notwendigen Fahrten oder Leitern anzusehen sind.

Die Ausführung der Schachtbauten zeugt von einer außerordentlichen Sorgfalt und läßt die Anwendung von Visierlineal (διόπτρα), Richtscheit und Wasserwage, deren Verwendung auch Heron von Alexandrien (im 3. Jahrhundert v. Chr.) andeutet, erkennen.

In den Figuren 3 und 4 sind (nach Kordellas, Le Laurium, Marseille 1871) laurische Schächte dargestellt. Es bedeutet dabei *a* einen flachen Förderschacht, *b* einen lotrechten Förderschacht und *c* einen Wetterschacht. Ardaillon berechnet (Les mines du Laurion dans l'antiquité, Paris 1897, S. 30) die Bauzeit eines 100 m tiefen Schachtes von 2 qm Querschnitt auf drei Jahre fünf Monate für mittelfesten Kalkstein.

Nimmt man eine Belegschaft von 8 Mann für das Abteufen eines Schachtes an, und zwar unter Voraussetzung von 2 je zwölfstündigen Schichten je 2 Mann vor Ort und je 2 Mann zur Förderung, so kann man den Preis eines Meters Schacht berechnen. Nach Vitruv (VII, 3) und anderen Autoren kostete ein Sklave an Pacht pro Tag 1 Obolus, außerdem an Unterhalt und Kost einen weiteren Obolus; an Arbeits-

tagen rechnet Xenophon 360 auf ein Jahr. Damit ermittelt sich der Preis für die 100 m Schacht zu $(3 \cdot 360 + 150) \cdot 8 \cdot 2 = 19680$ att. Obolen oder (zum Satze von 12 Pfg. = 1 Obol) zu 2361,60 Mk. 1 m Schacht kostete somit rund 24 Mk. heutigen Geldes.

Die von den Römern herrührenden, stets paarweise mit nur wenigen Meter Abstand angelegten Schächte sind, von verschwindenden Ausnahmen von elliptischen Schächten (z. B. in Portugal, vgl. Karstens Arch. f. Mineral. VI, 270 nach Eschwege) abgesehen, rechtwinklig viereckig und, sofern sie nicht in ganz festem Gestein stehen, wenigstens in der oberen Partie ausgemauert. Ihre durchschnittliche Weite beträgt 1,2—2,5 m. Gobet (Les anciens minéralogistes de la France I, 122, 127) hat in den Pyrenäen auch fast runde Schächte von 8—10 m Durchmesser gesehen. Ausnahmslos sehr groß sind die ursprünglich etruskischen Schächte, deren man viele am Monte Calvi und an anderen Orten gefunden hat

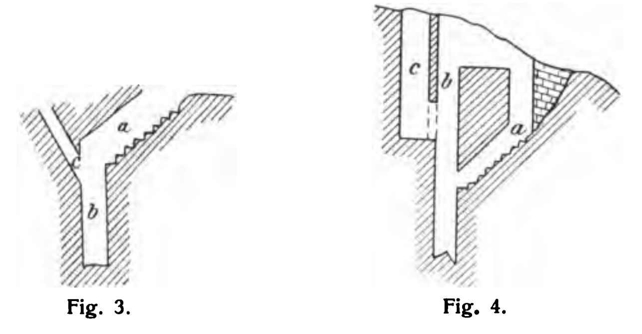


Fig. 3. Fig. 4.

bei »la gran Cava« hat ein mehr als 100 m tiefer elliptischer Schacht 12 m langen und 5 m kurzen Durchmesser gehabt.

Die der Verbindung mehrerer untereinanderliegender Grubenbaue dienenden blinden Schächte sind während des ganzen Altertums in äußerst engen Maßen gehalten worden, oft nur 0,5 m weit, so daß man kaum begreift, wie ein Mann darin hat arbeiten können; dabei sind die Baue oftmals recht unregelmäßig im Querschnitt und im Einfallen.

Auch die Strecken und Stollen sind im Grubenbetriebe mit nur wenigen Ausnahmen äußerst enge und meist sehr unregelmäßig nach Streichen und Fallen getrieben. Durchschnittlich ist die Breite 2,0—2,2 Fuß, die Höhe 3,0—3,5 Fuß; die Firste ist abgerundet, wenn die Strecke mittels Eisens aufgefahren wurde, spitzbogig gestaltet aber bei Anwendung des Feuersetzens. Gesprenge sind nicht selten in der Streckensohle; Stufen finden sich dort, wo das Einfallen des Baues so stark ist, daß es ein Fahren auf der freien Sohle nicht mehr gestattet. Die Stöße sind meistens außerordentlich glatt ausgehauen, nicht selten

auch in deutlich ersichtlicher Weise von den Körpern der die Strecken passierenden Arbeiter im Laufe langer Zeiträume geglättet, wie man z. B. in den in prähistorischer Zeit aufgenommenen, später römischen Bauen von El Aramo in Asturien mehrmals beobachtet hat. Doch haben die Römer auch nach heutigen Begriffen fahrbare Strecken und Stollen gekannt. Gobet beschreibt (l. c. II, 485) aus den hohen Pyrenäen einen 2 m hohen, sehr schönen römischen Stollen. Nach Murchison (Silurian System, London 1839, S. 367) ist in Wales eine Römergrube, die einen ganzen Hügel durchlöchert hat, mit 8 Fuß hohen Strecken versehen gewesen. Bei den gleichfalls römischen Grubenbetrieben auf den Erzgängen des nordöstlichen Abhanges des Kvarac-Gebirges in Bosnien sind (nach Pogatschnigg in »Wissenschaftl. Mitteil. aus Bosnien und Herzegovina«, Bd. II, 1894, S. 156) die Strecken in Dimensionen gehalten, welche Fuhrwerken gestatteten, das Haufwerk herauszubringen. Der im Streichen getriebene Kovačica-Stollen z. B. hat eine Höhe von 3 m und eine Breite von 2,5 m. Er zeigt dazu eine auffallende Regelmäßigkeit und Sorgfalt in der Ausführung.

Im übrigen begegnen wir im Altertum großen Stollenbauten, die mit unseren Tunnels zu vergleichen wären, fast nur auf dem Gebiete der Städtebewässerung und -entwässerung. Eins der bedeutendsten Bauwerke dieser Art ist unstreitig der von Herodot (III, 60) erwähnte Tunnel des Eupalinus von Megara auf Samos, der dazu bestimmt war, die Stadt Samos im Falle einer Belagerung mit Trinkwasser versorgt zu erhalten. Am Abhange des etwa 240 m hohen, von dem alten Kastell von Samos gekrönten Berge Castri beginnend, zieht er sich 1500 m lang durch den Berg und mündet auf der Gegenseite einige Meter unter dem Boden in eine unterirdische Wasserleitung. Der Tunnel ist bei 1,8 m Höhe 1,75 m breit. Etwa 400 m vom Mundloche macht der Tunnel ein Knie. Unter der Sohle des Tunnels liegen in einem 0,70 m tiefen und 0,80 m breiten, überwölbten und mit zusammen 28 die Reinigung und Ausbesserung erleichternden Öffnungen versehenen Kanale die eigentlichen Wasserleitungsrohre aus Ton, 65—67 cm lang, 3—4 cm wandstark und 80—85 cm im Umfang messend. Jedes zweite Rohr wies in seinem Scheitel eine Öffnung auf, deren Zweck wohl die Entlastung der allerseits freiliegenden Rohre vom Wasserdrucke war. Am einen Ende des Tunnels setzt sich die Leitung bis unter das alte Samos fort; am anderen Ende fließt ein heute nur schwacher, vor alters aber jedenfalls bedeutend stärkerer Wasserlauf vorbei, der das Wasser an die jetzt noch den Brunnen des Klosters St. Johann speisende Leitung abgibt. Entdeckt und wieder ans Licht gezogen wurde die in Erfindung und Ausführung gleich geniale An-

lage, die man getrost den imposantesten Schöpfungen der Neuzeit an die Seite stellen kann, im Anfange der 80er Jahre vergangenen Jahrhunderts von dem Gouverneur der Insel Abyssides Pascha.

Von anderen großartigen Stollenbauten seien folgende genannt:

Semiramis ließ (nach Diod. II, 13) den Orontesberg durchstechen, um das zwölf Meilen entfernte Ekbatana mit Wasser zu versorgen. Der Tunnel war 15 Fuß breit und 40 Fuß hoch.

Unter dem Euphrat her wurde ein in Ziegeln gewölbter Tunnel von 15 Fuß Breite und 12 Fuß Höhe nach Babylon gegraben, der ebenso lang war wie die von Semiramis gebaute Brücke (5 Stadien) (Diodor. II, 8).

Aus dem 8. vorchristlichen Jahrhundert stammt der Siloahtunnel, durch den das Wasser der östlich von Jerusalem gelegenen Marienquelle in die Stadt geleitet wurde. Über diesen Bau, auf den Prof. theol. Bertholet in Zürich anläßlich des Durchschlages des Simplontunnels aufmerksam gemacht hat, gibt eine 1880 im Tunnel entdeckte althebräische Inschrift Aufschluß, welche lautet: »(Vollendet ist) die Durchstechung. Und dies war der Hergang der Durchstechung. Als noch die Hacke des einen gegen den anderen und als noch drei Ellen (zu durchstechen) waren, so (vernahm man) die Stimme des einen, der dem anderen zurief; denn es war (ein Spalt?) im Felsen von der südlichen Seite her. Und am Tage der Durchstechung schlugen die Hauer einander entgegen, Hacke auf Hacke. Da flossen die Wasser vom Ausgang in den Teich, 1200 Ellen weit. Und 100 Ellen war die Höhe des Felsens über dem Kopfe der Steinhauer.«

Diese Worte beweisen einen Betrieb mit Ort und Gegenort, der auch durch den Augenschein bestätigt wird, welcher die Meißelhiebe im nördlichen und im südlichen Stollenteil in einander entgegengesetzter Richtung zeigt. Im Innern zeigt sich, daß man mehrfach angefangene Stollen verließ, wohl um die Richtung zu korrigieren. Schließlich mag der in der Inschrift hervorgehobene Umstand, daß man sich gegenseitig zu hören anfing, den einzigen Kompaß gegeben haben. Das Resultat war dann auch, daß man sich ziemlich weit von der geraden Linie entfernte, indem der Tunnel insgesamt 535 m lang geworden ist, während die Luftlinie zwischen Anfangs- und Endpunkt des Stollens nur 335 m beträgt. Der Durchschlag liegt nahe der Mitte des Baues. Die Breite des Stollens beträgt 60—80 cm, die Höhe sinkt von 3 m am südlichen Mundloche, wo man vermutlich eine Felsspalte mit benutzte, auf 0,46 m am Durchschlag, wahrscheinlich infolge des festeren Gesteins in der Mitte, und nimmt gegen den Nordausgang wieder bis auf 1,8 m zu. Auffallend genau ist die Sohle horizontal gehalten worden (Org. d. V. d. Bohrt. 1905, Nr. 18, S. 10).

Auf griechischem Boden bieten wohl die nach Curtius in die mazedonische Zeit zu setzenden Versuche zur Entwässerung des Copaissees die bedeutendsten Beispiele von Stollen bzw. Tunnelbauten. Die vorgeschichtlichen Bewohner Böotiens, die Minyer, hatten es verstanden, die großen von Westen her in den Copaissee einströmenden Wassermassen durch drei von Deichen geschützte Kanäle nach Osten zu leiten, wo sie durch natürliche unterirdische Schluchten nach dem Meere abflossen. Dadurch schafften die Minyer auf dem etwa 4 1/8 Quadratmeilen großen Seeboden eine fruchtbare, von einem Kranze blühender Städte umgebene, trefflich bewässerte Landschaft, an deren Spitze das mächtige Orchomenos stand, in der so viele Einkünfte zusammenströmten, wie in dem hunderttorigen Theben.

Infolge von Verstopfung der die Wasser ableitenden Schluchten hatten dann, als Theben zu seiner Befreiung aus dem bis ans Meer reichenden Machtgebiet von Orchomenos den Nachbarkrieg begann, die Fluten wiederum die Schutzdämme überschwemmt und die Landschaft in einen ungesunden, öden Sumpf verwandelt, als der sie jahrhundertelang berüchtigt war. Um nun dem Wasser wieder einen, jetzt künstlichen, Abfluß zu verschaffen, versuchte Alexander der Große durch seinen Ingenieur Krates in der Nordostecke der Bucht Topolia einen Tunnel in der Richtung nach dem Meere treiben zu lassen. Der Bau erreichte eine Länge von fast 2000 m, die Durchführung der Entwässerungsarbeiten scheiterte jedoch an der Uneinigkeit der umwohnenden Griechen.

Das älteste und zugleich bedeutendste Beispiel eines in großen Dimensionen gehaltenen Stollens aus der Zeit der Römerherrschaft ist wohl die angeblich schon von dem Könige Tarquinius Priscus — also noch unter dem stark wirkenden Einflusse der Etrusker — erbaute Cloaca maxima, deren Zweck die Trockenlegung des sumpfigen Tales des Forum Romanum, Velabrum und Forum Boarium war und deren 800 m langer, 2,15—4 m breiter und über 3 m hoher, in Tuffquadern gewölbter Hauptstrang heute noch funktioniert. Nach Plinius (hist. nat. XXXVI, 24) waren die Gewölbe so geräumig, daß man mit einem breit geladenen Fuder Heu darin fahren konnte: Amplitudinem cavis eam fecisse dicunt, ut vehem feni, large onustam transmitterent.

Ebenbürtig ist das im sechsten Jahre der Belagerung von Veji, d. h. a. 398 v. Chr., in Befolgung eines delphischen Orakelspruches begonnene Emissarium des Albaner Sees, welches behufs Verhinderung der periodischen Überschwemmungen der Campagna und der Nutzung des Wassers angelegt wurde. Einen anderen großartigen Stollenbau stellt das vom Kaiser Claudius hergestellte Emissarium des Fuciner Sees dar. Wenn infolge anhaltender Regengüsse oder mehrerer aufeinander-

folgender nasser Jahre sich die Wasserzuflüsse aus den den See umgebenden Abruzzenbergen mehrten, stieg der Wasserspiegel des Sees, der eines unmittelbaren Abflusses entbehrte, und von dem benachbarten Garigliano (Liris), der in den Busen von Gaëta mündet, durch den 300 m hohen, steilabfallenden Rücken des heutigen Monte Salviano getrennt war, oft um 10—12 m, so daß die im Uferbereiche gelegenen Orte wiederholt überschwemmt und die stark bebauten Landstriche verwüstet wurden. Um diesen Mißständen zu steuern, ordnete Claudius eine Tieferlegung des Sees an und ließ nach dem Liris einen 5700 m langen Abzugsstollen graben, dessen Höhe 3 m, dessen Breite 1,8 m und dessen Gefälle 1,5 ‰ betrug. Hierdurch wurde, wie Spuren von römischen Städten im Seegebiet dartun, die Seefläche von 15000 auf 7000 ha vermindert. Wie Sueton berichtet, waren 30000 Menschen elf Jahre lang beim Bau tätig. Zur Richtungsanweisung und Förderung waren 40 seigere Schächte von 80—122 m Tiefe und eine noch größere Zahl flacher Schächte von 16—20° Neigung vorhanden. Plinius beweist uns den Orts- und Gegenortsbetrieb übrigens unzweifelhaft; er teilt nämlich (h. n. XXXVI, 24) mit, daß man das Wasser mit Maschinen gehoben habe und daß alles im Finstern (bei Lampenlicht) verrichtet worden sei. — Cum corrivatio aquarum egeretur e vertice machinis ..., omniaque intus in tenebris fierent. Die seigeren Schächte haben 4,3 qm (als Quadrat gestalteten) Querschnitt und boten zum Einhängen der Lote den nötigen Raum[1]).

c) Abbauarten.

Die einzigen Abbaumethoden, über die das Altertum verfügte, waren Strossenbau und Weitungsbau; letzterer wurde entweder von unten nach oben oder von zwei Seiten aus oder in absteigender Richtung betrieben.

Der Strossenbau präsentiert sich ganz von selbst auf allen zutage ausgehenden Lagerstätten und ist auf allen Steinbrüchen des Altertums, ferner in großartigstem Umfange z. B. am steirischen Erz-

[1]) Im Laufe der nachrömischen Zeit verfiel das Bauwerk, zumeist infolge der mangelhaften Durchschläge, die dem Wasser eine große Angriffsfläche boten. Außerdem verbrach der Einlauf, und im Innern kamen Einstürze vor. Im Mittelalter (z. B. von Friedrich II.) unternommene Versuche, den Abfluß von neuem zu öffnen, hatten keinen Erfolg. 1816 wurde der Plan von der Regierung von Neapel erwogen; die disponibel gemachten 42000 Frcs. reichten natürlich bei weitem nicht aus und so unterblieb die Ausführung des Projektes, bis durch die Freigebigkeit des römischen Fürsten Torlonia in den Jahren 1862—1875 mit einem Aufwand von 43 Millionen Frcs. die Ausführung möglich wurde, welche dem See ca. 14000 ha wertvolles Land abrang.

berge, auf dem Ausgehenden der Elbaner und mittelitalienischen Eisen- und Kupfererzlagerstätten und auf den oberägyptischen Goldvorkommen betrieben worden. Wie kein andrer Abbau gestattete er die Anlegung von großen Arbeiterkolonnen und ermöglichte überdies eine sehr bequeme Förderung und Gewinnung der Massen.

Im unterirdischen Betriebe wandte man in den allermeisten Fällen den Weitungsbau in seinen verschiedenen Modifikationen an.

Am planmäßigsten sind dabei die laurischen Bergleute vorgegangen, indem sie je nach der räumlichen Ausdehnung der Lagerstätte nach Streichen und Einfallen die eine oder andre Abart des Weitungsbaues anwandten, die im folgenden dargestellt werden soll.

Nach Erreichung der zur Ausbeutung sich eignenden Lagerstätte fuhren die laurischen Bergleute längs des Kontaktes mit dem Nebengestein eine Strecke (ὑπόνομος, διῶρυξ, διαδυσις, ὄρυγμα — Xenophon, Über d. Staatseinkünfte, IV, 26, Diodor, III, 12, 5, 6, Strabon V, 2, 6, XIV, 5, 28, Pollux VII, 98 —) auf, von der aus sie nach oben und unten, sowie zur Seite in die taube Lagerstätte hinein Untersuchungsstrecken trieben. Fand sich durch diese Vorarbeit, daß man die Hauptmasse der Lagerstätte unter der Kontaktstrecke zu suchen habe, so betrieb man den Weitungsbau von oben nach unten; die ausgewonnenen Räume blieben natürlich leer und das Haufwerk mußte, um auf die Hauptstrecke zu gelangen, nach oben geschafft werden. Blieb dieser als Unterwerk im heutigen Wortsinne zu charakterisierende Weitungsbau wegen der geringen Tiefe der Lagerstätte nur flach, so geschah das Heraufschaffen der gewonnenen Massen durch Handreichung, vertiefte sich indessen der Abbau bedeutend unterhalb der Streckensohle, so vermittelte man den Transport des Haufwerks aus dem Tiefsten nicht selten durch ringsumlaufende Spiralbankette.

Ergab sich aber andererseits, daß das größte Stück der in Angriff zu nehmenden Lagerstätte oberhalb der Strecke anstehe, so war damit die Voraussetzung für einen aufwärts gerichteten und mit Verfüllung der hergestellten Hohlräume durch taube Massen arbeitenden Abbau gegeben. In dem Maße, als man sich von der Hauptstrecke entfernte, mußte man diese für die Abfuhr der gewonnenen Massen durch ansteigende Hilfsstrecken zugänglich machen. Fig. 5 zeigt solche Baue bei *c*; *a* ist die Hauptstrecke, *b* sind am Kontakt herumgeführte Untersuchungsbaue.

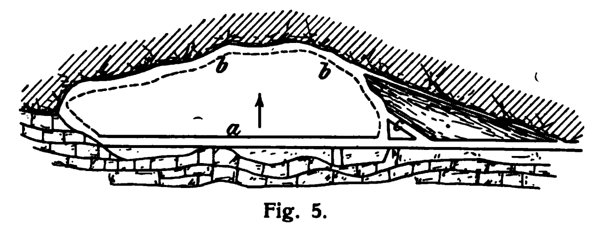


Fig. 5.

Seltener ist die Inangriffnahme einer größeren Lagerstätte in zwei Sohlen zu finden, wie sie bereits in Fig. 2 dargestellt war. Bei den in bezug auf den Inhalt ihrer laurischen Erzlagerstätten äußerst sparsamen Athenern kam eine solche Zweiteilung nur dann vor, wenn es sich um eine relativ arme Partie von großer Mächtigkeit handelte.

Die Ausdehnung der Weitungsbaue war im allgemeinen durch das Maß der bauwürdigen Partien und die Festigkeit des Gesteins gegeben; war die letztere groß genug, so verhieb man selbst Erzmassen von 900—1000 qm Grundfläche, ohne einen Sicherheitspfeiler stehen zu lassen.

Mußte man unbedingt Lagerstättenmasse zur Stützung des hangenden Gesteins in Gestalt von Sicherheitspfeilern, Bergfesten (ὅρμοι, μεσοχρινεῖς, ὁμοερχεῖς) stehen lassen, deren Bestand in Laurion gesetzlich geschützt war, so geschah dies nur in den ärmeren Partieen; dort aber, wo die Ausbeutung eben lohnte, stellte man Mauerpfeiler aus groben Steinen auf.

Auf Gängen folgen die Weitungen tonnlägig dem Einfallen der Lagerstätte, z. B. bei Courmayeur in Piemont (Journ. d. mines, an VII, p. 112), und stehen durch enge Strecken miteinander in Verbindung.

Die alten Japaner betrieben auch unter Tage eine Art von unversetztem Strossenbau, indem sie, dem Laufe der Lagerstätte entsprechend, ein Ort über dem andern mit leichter Neigung aufwärts trieben, bis die Ventilation zu schlecht wurde und man einen Schacht aufbrach.

Ein ganz besonderer Abbau wurde auf den im Nordwesten Spaniens gelegenen Goldvorkommen betrieben, nämlich eine Art von Bruchbau mit nachfolgender Abschwemmarbeit, wodurch das unhaltige Gestein fortgeführt, das haltige dagegen angereichert und gesammelt wurde. Dieser Bauart tut Plinius in seinem 33. Buche, c. 4, 21 mit Bewunderung Erwähnung und stellt sie dabei als der Gigantenarbeit ebenbürtig wie folgt dar: »Von Tage aus treibt man ein System von Stollen und Strecken kreuzweise während vieler Tage und Nächte tief in den Berg, indem man das Gestein mittels Feuersetzens oder Schlägel- und Eisenarbeit bezwingt. Trifft man hierbei auf Kieselstein, so umgeht man diesen mit der Strecke. Wenn man den Berg hinreichend weit durchquert zu haben glaubt, so geht man daran, die zwischen den einzelnen Strecken stehen gelassenen Bergfesten durchzuhauen, um das Zubruchgehen des Hangenden zu beschleunigen. Eine auf der Spitze des Berges stehende Wache beobachtet den Anfang des Niederbrechens und benachrichtigt die Häuer davon, die darauf eilends ihre Arbeit verlassen, während bald darauf der Berg zusammenstürzt. Der ganze Berg zerfällt in Trümmer, der Krach ist entsetzlich, der Luftdruck ganz fürchterlich. Die Leute schauen triumphierend der Vernichtung zu,

haben aber noch kein Gold, konnten auch während des Grabens gar nicht wissen, ob sie welches bekommen würden.« Nachdem man den Berg so zu Bruch gebaut, leitete man, um das in den Schuttmassen vorhandene Metall zu gewinnen, unter großen Mühen und Kosten Bäche und Flüsse, oft Meilen weit, über Täler und durch Berge in Gerinnen nach großen Teichen, aus denen man das Wasser auf das Gestein herabstürzen ließ. Den Ablauf fing man unten in mit Ginster ausgelegten Gerinnen auf, wobei man das feine Gold zurückhielt. Durch Trocknen und Verbrennen der Sträucher gewann man das Rohgold, welches man durch Auswaschen von der Asche befreite. Plinius nennt die Produktion aus diesem Bruchbau so bedeutend, daß »Hispanien bereits seine Küste ins Meer hinaus geschoben habe«. Diese Nachricht ist nun zwar stark übertrieben und auch schon deswegen unwahrscheinlich, weil Spaniens Küste im Norden und Nordwesten felsig ist und keine Spur von Anschwemmungen der beschriebenen Art erkennen läßt. Immerhin haben die an Ort und Stelle vorgenommenen Untersuchungen eine enorme Ausdehnung des Bruchbaues ergeben. (Man vergleiche hierzu Breidenbach, Goldvorkommen im nördlichen Spanien, »Zeitschrift für praktische Geologie« 1893, 16). In einem kreisringförmigen Gebiete, dessen Zentrum Lugo ist und dessen Umfang von den Linien Castropol-Pravia-Astorga-Villafranca gebildet wird (Gesamtinhalt 700 000 ha), sind aus etwa 33 Tagebauen rund 15 Millionen Kubikmeter Gestein bearbeitet und weggeschwemmt worden. Dies sind aber sicher nicht alle Arbeiten der Alten; manche mögen ganze Hügel vertilgt und nur große Steinwüsten hinterlassen haben. Im ganzen mögen die Römer wohl 50 Millionen Kubikmeter, d. h. zirka 125 Millionen Tonnen Gebirge bewegt haben, wovon etwa 50 Millionen ins Gebiet des aus dem bis 1950 m ansteigenden Somedogebirge entspringenden Sil gehören. Beuther nimmt (vgl. »Preußische Zeitschrift« 1891, S. 55) als plinianisches Goldland ein von den Städten Coruña, Oporto, Salamanca und Gijon als Ecken begrenztes Gebiet von etwa 10 Millionen Hektar Areal an und Breidenbach setzt hierfür etwa die dreifache der genannten Exkavation an, wonach man die Gesamterdbewegung seitens der Alten auf etwa 500 Millionen Tonnen ansetzen kann.

Auf diese ohne Zweifel recht unwirtschaftliche Verwaschung von Gesteinsmassen mögen die Römer wohl durch Zufall gekommen sein, etwa dadurch, daß ein von selbst oder durch unvorsichtigen Betrieb zu Bruch gegangener Berg von ihnen, denen die Aufwältigung eines zusammengebrochenen Grubenbaues jedenfalls unbekannt war, gelegentlich einmal mit Wasser angegangen worden war, damit sie aus den Massen wenigstens einen Teil des Freigoldes gewinnen konnten.

d) Gewinnungsarbeiten.

Behufs Gewinnung lockerer Massen, etwa Gerölle oder bereits hereingesprengter Gebirgshaufen, wendete man, wie Vegetius in seinem (um 490 n. Chr.) verfaßten Werke über das Kriegswesen (de re militari II, c. 25) bezeugt, Zweizacke, Kratzen[1]), Schaufeln und Tröge an. Diese Gezähestücke führten auch die Kriegsminiertrains mit, die ja im Altertum recht häufig in die Lage kamen, Minengänge zu graben[2]).



Fig. 6.

Eine zum Hereinschrämen weicher Lagerstättenmassen dienende bronzene Breithaue, deren chaldäisches Original im Museum des Louvre aufbewahrt wird, ist in Fig. 6 dargestellt (nach Chantre, Les entrailles de la terre, Paris 1896).

Das feste Gestein griffen die Alten entweder unmittelbar mit dem Gezähe oder erst mit Feuersetzen an. Die Arbeiten ersterer Klasse charakterisieren sich als:

1. Keilhauenarbeit,
2. Hereintreibearbeit,
3. Arbeit mit Schlägel und Eisen.

Die ältesten Gezähe, die auf uns gekommen sind und zur Keilhauenarbeit dienten, sind in Knieäste gefaßte Hirschgeweihsprossen aus den prähistorischen Kupferbergbauen von El Aramo in Asturien. Ähnlicher Werkzeuge hat man sich ohne Zweifel an manchen andern Orten bedient; sie gehören den Zeiten der größten Primitivität an und wurden in geschichtlicher Zeit durch eiserne, bronzene oder verstählte Spitzhauen oder Keilhauen ersetzt. Diese Geräte kommen schon in Gräbern der ältesten Dynastien Ägyptens in Zeichnungen vor, indem (nach Birch, Proceedings of Soc. of Antiqu. London, V, second series, p. 22) den in die Gräber gelegten Skarabäen außer Zeichnungen von Breithauen, Schaufeln, Körben auch Spitzhacken auf den Rücken graviert waren.

Agatharchides erwähnt die hier in Rede stehenden Gezähe als λατομικός σίδηρος; er sagt (Diodorus III, 103): τυπίσι σιδηραῖς πέτραν κοπτουσι. Thucydides nennt die Gezähe σιδήρια λιθουργά; Plinius

[1]) Die Kratze heißt bei ihm rutrum, von ruo abgeleitet; davon heißt dann rutramina das, was man mit der Kratze gewinnt, also das Grubenklein.

[2]) Perser bei Barka in Afrika um 540 (Her. IV, 200), bei Milet 496 (Her. VI, c. 18), Griechen bei Platää, Camillus bei Veji, Rhodier gegen Demetrius, Mazedonier bei Lamia (Liv. 36, c. 25), Cäsar bei Uxellodunum (b. G. VIII, 43) und sonstige zahlreiche Fälle.

kennt sie unter der Bezeichnung aciscul us oder malleus rostratus; Hist. nat. XXXIII, 14 werden von ihm die Hammerschnäbel, malleorum rostra, erwähnt. Sie kommen übrigens auch auf einigen Münzen vor, z. B. auf solchen der den Beinamen acisculus führenden Gens Valeria.

Im Gebiete von Laurion hat man eine Reihe von Spitzhauen gefunden, die den heute noch zu Wieliczka in Anwendung stehenden Schrämhämmern durchaus ähnlich sind, wie sich überhaupt die allgemeine Grundform der Keilhauen bis in unsre Zeit durchgerettet hat. Aus höchstwahrscheinlich römischen Bauen am Mechernicher Bleiberge besitzt Verfasser eine Keilhaue von der daselbst auch heute noch gebräuchlichen Gestalt der Fig. 7.

Von einem am Mitterberge gefundenen Bronzepickel gibt Fig. 8 nach Much eine Anschauung; das Werkzeug hat abgerundete Kanten und endet in einer stumpfen Spitze, den Schaft nimmt eine Höhlung des Nackens auf. Im Hallstätter Salzbergbau hat man dagegen Hauen von der Form der Fig. 9 gefunden.

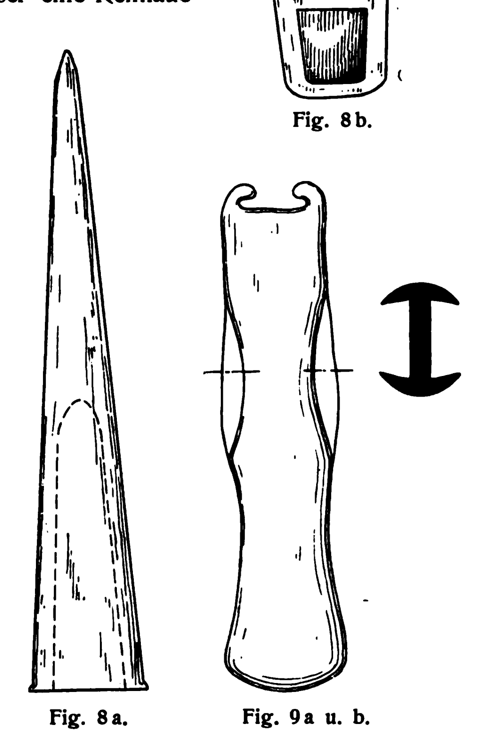


Fig. 8b.

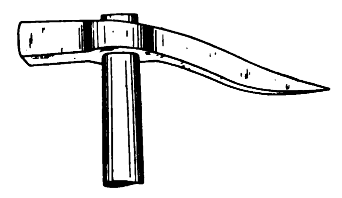


Fig. 7. Fig. 8a. Fig. 9a u. b.

Aus den prähistorischen Steinsalzgruben von Königstahl in der Maramaros ist ein keilhauenähnliches Gerät von der Form der Fig. 10 bekannt geworden, dessen Schneide parallel zum Helm steht und das Gezähe zum Spalten von Steinsalzblöcken geeignet erscheinen läßt. (Preißig, Österr. Z. f. B.- u. Hüttenwesen, 1877, S. 301, 311, 321.)



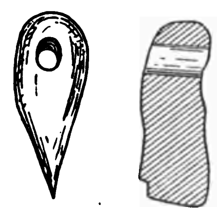


Fig. 10.

Eine größere Anzahl von römischen Bergbauwerkzeugen hat Dacien geliefert; sie sind 1888

von Teglás beschrieben (in der Zeitschr. f. B.- u. Hüttenwesen), dessen Darstellung wir folgen.

Die Figuren 11—13 stellen eiserne Spitzhauen dar; bei den beiden

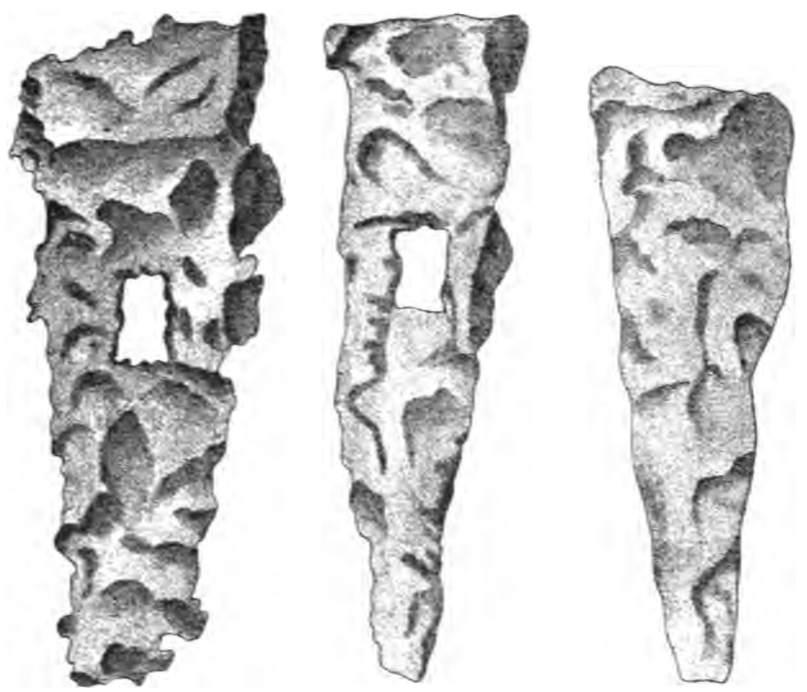


Fig. 11. Fig. 12. Fig. 13.

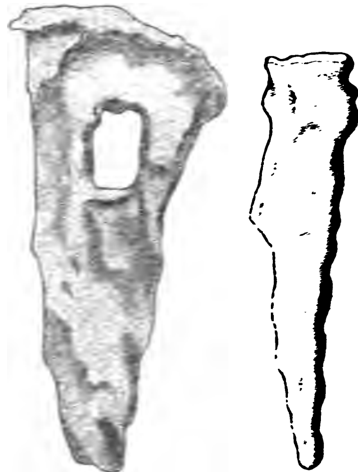


Fig. 14. Fig. 15.

ersteren ist das Stielloch noch ganz erhalten, das dritte Exemplar ist indes unter dem Stielloch abgebrochen. Das in Fig. 11 dargestellte Stück ist 11 cm lang und unten $4^{1}/_{2}$ cm breit, das zweite Stück hat $11^{1}/_{2}$ cm Länge und gleichfalls verbrochene Spitze.

Das Stück Fig. 14 stammt aus Káracs im Hunyader Komitat, wo die Römer ausgedehnten Goldbergbaubetrieb unterhielten. Es stimmt in Form und Maßen sehr mit dem in Fig. 15 aus den von Place auf Napoleons III. Befehl angestellten Ausgrabungen von Khorsabad hervorgezogenen Stück überein, gleichfalls mit

einem Instrument, welches wir bei Champollion auf Blatt 183 in der Hand eines Steinmetzes sehen.

In dem seit uralten Zeiten durch seinen Eisensteinbergbau, der bei Télek und Gálos seine Fortsetzung findet, bekannten Csernathale fanden sich mehrere zu einer Ausrüstung gehörige Gezähe, von denen das besterhaltene, eine Keilhaue von 2 kg Gewicht und 5 cm Breite, in Fig. 16 dargestellt ist. Das Gerät wurde sowohl zum Spalten als auch zum Zerschlagen benutzt, wie der abgenutzte Kopf beweist. Eine andere Haue, Fig. 17, ist 18 cm

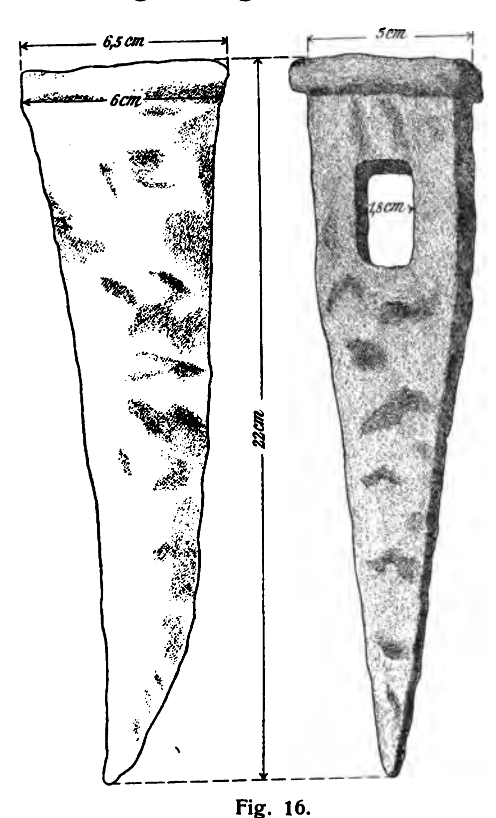


Fig. 16.

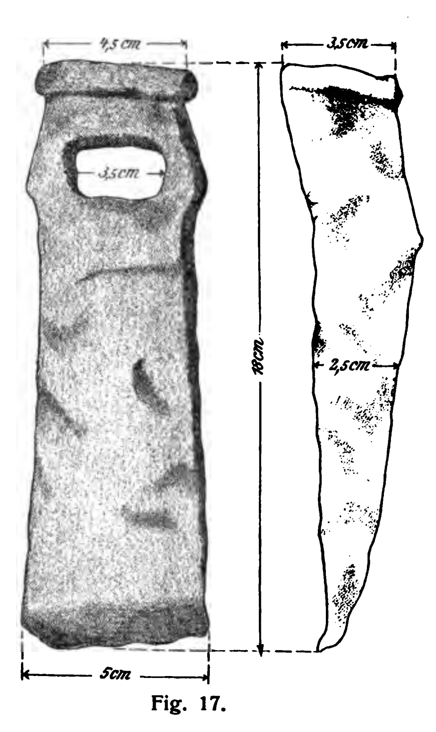


Fig. 17.

lang, das Loch ist 3,5 cm breit und 2 cm hoch, die obere Seite ist 4,5 cm lang. Von der Seite betrachtet ist die Spitze etwas zur Seite gebogen und das Stück 2,5 cm dick.

Auch in den römischen Gruben von Gyalár am Runkbache sind Gezähe gefunden worden, und zwar zwei Keilhauen, Fig. 18 und 19, von 21 und 24 1/2 cm Länge, und 2 1/2 cm oberer, sowie 7 cm Kantenbreite. Sie sind 0,96 kg schwer; aus einer anderen Grube stammt das in Fig. 20 gezeichnete Gezähe.

Zur Hereintreibearbeit benutzte man Brechstangen [μόχλιον, μοχλος λιθουργοῦ bei Lucianus, vectis bei Cäsar (b. G. II) genannt], die bis 150 römische Pfund wogen, und Keile aus Holz oder Metall. Die Form der von den Alten benutzten Keile entspricht im allgemeinen der heute gebräuchlichen; die Spitze ist bei den etruskischen und römischen Keilen einfach konisch oder pyramidal; bei den griechischen gradlinig-meißelförmig und bei den Ägyptern zweispitzig-

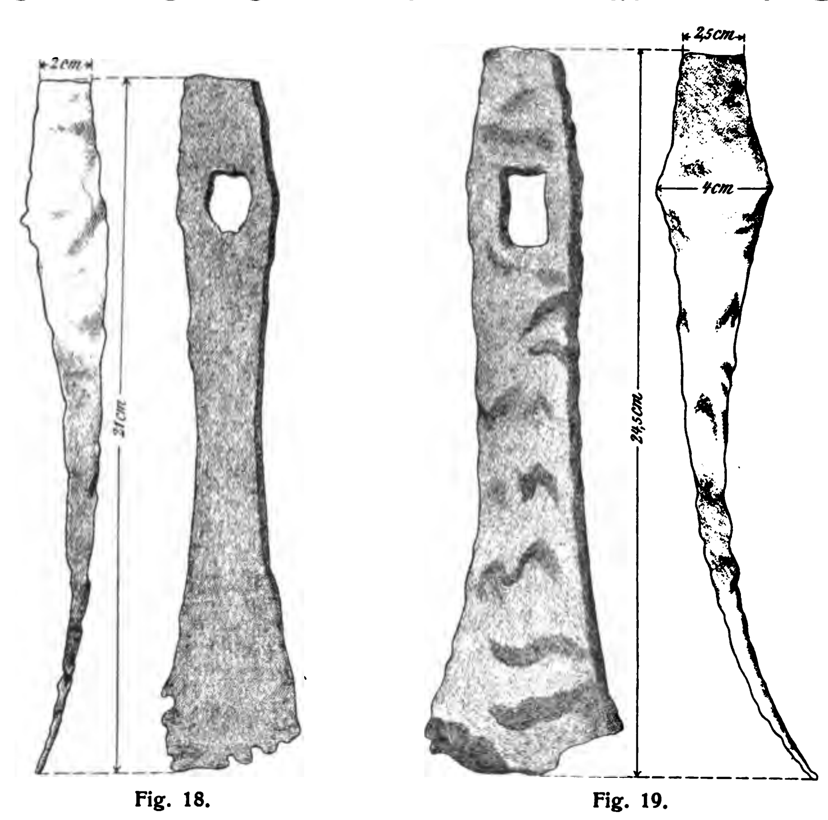


Fig. 18. Fig. 19.

schwalbenschwanzförmig. Die Länge der Instrumente variiert zwischen 6 und 9 1/2 Zoll, das Gewicht zwischen 1 und 3 kg.

Ein 9,5 cm langer und 2 cm breiter römischer Keil aus Télek ist in der der nebenstehenden Fig. 21 dargestellt; er wiegt 0,24 kg. Im Züricher Museum befindet sich ein Pendant dazu.

In Fig. 22 ist ein 0,23 m langer und 0,27 kg schwerer Eisenmeißel aus Télek dargestellt. Ein ähnlich geformtes Instrument sieht man auch auf der 164. Tafel des Champollionschen Atlas zu »Monuments de l'Egypte et de la Nubie, Paris 1835« in der Hand eines Steinmetz,

ebenso wiederholt sich die Gestalt dieses Gezähes auf römischen Reliefs und Vasen.

Keile aus hartem — Eichen- oder Buchen- — Holze hat Much am Mitterberge gefunden, ebendort auch Zulagen aus Buchenholz von 10 cm Breite.

Hinsichtlich der Ausführung der Hereintreibearbeit weisen alle Anzeichen darauf hin, daß man, wenigstens in den Steinbrüchen, rings um das abzulösende Gestein zuerst mit

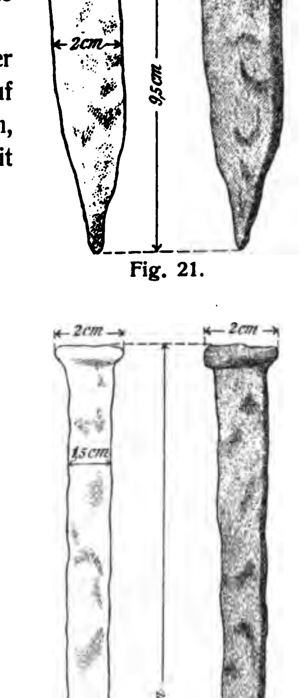


Fig. 21.

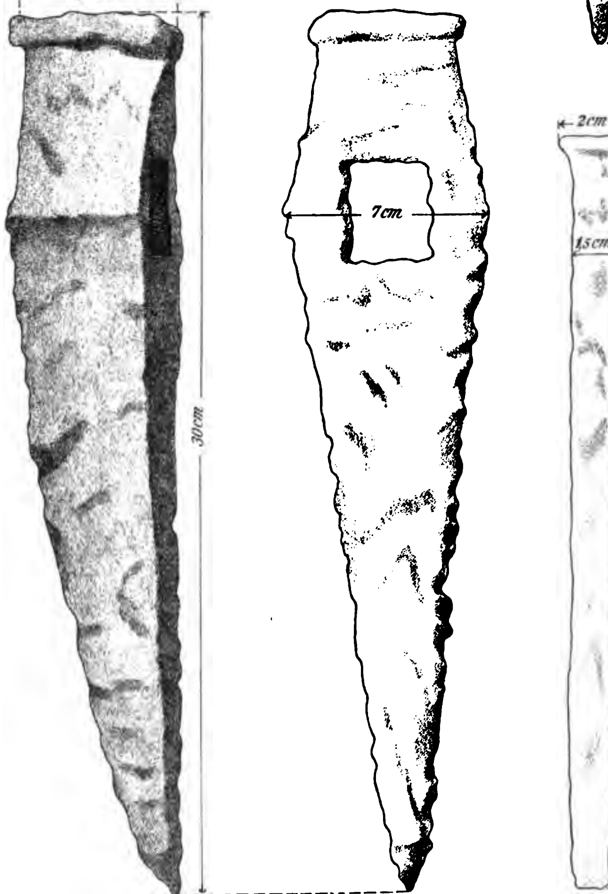


Fig. 20.

Fig. 22.

kleinen Werkzeugen Rinnen ausarbeitete, um es dann mit schweren Gezähen abzuheben. In den Brüchen von Syene z. B. hat man (nach

Pococke, Reise nach dem Orient I, 198) rings um den abzuhebenden Block 3 Zoll tiefe Rinnen eingehauen, dann die Hebekeile angesetzt. Analoge Arbeitsvorgänge zeigen die römischen Mühlsteinbrüche am Cap Spartel in Marokko (Berg in Köln. Zeit. 1880, Nr. 126), die Marmorbrüche im Gneiß bei Bona (Fournel, Rich min. de l'Algerie, Paris 1849, S. 34), die Traßgruben bei Plaidt (Ber. d. nrh. Ges. f. N.- u. Heilk. 1869, S. 118) und die Syenitbrüche am Feldberg im Odenwalde.

An Stelle der Schlitze wandte man in vielen Fällen auch Bohrungen in regelmäßigen Abständen an, welche man mit trocknen Holzpflöcken besetzte, um durch die Kraft des mit Wasser benetzten quellenden Holzes Gesteinsbänke abzuheben. Nach Schuchhard (Schliemanns Ausgrabungen, Brockhaus, Leipzig 1890) kann man diese Technik schon an vielen Steinen der Burgmauer von Tiryns sehen [1]).

Zum Bohren solcher die Hereingewinnung vorbereitender Löcher in Steinen benützten die Ägypter das von den Griechen unter dem Namen τέρετρον oder τρύπανον überlieferte, nach Pausanias (Attic. S. 63) von Callimachus erfundene [λίθους πρῶτος ἐτρύπησε] Instrument, von dem wir leider nichts Genaues wissen. Ob es drehend oder etwa nach Art unseres Handbohrens schlagend gehandhabt wurde, ist unbestimmt, doch können wir wohl annehmen, es sei ein Drehbohrinstrument gewesen. Stammen doch schon aus der Steinzeit Werkzeuge, deren Stiellöcher mittels des Bohrers hergestellt sind. Als archäologische Seltenheiten finden wir Stücke mit unvollendet gelassenen Bohrungen und da zeigt es sich, daß man Kernbohrungen angewendet hat. Auch Kerne sind nachgewiesen worden. Im westpreußischen Provinzialmuseum zu Danzig werden mehrere Steinhämmer aufbewahrt, an denen die Ausübung der Kernbohrtechnik deutlich zu erkennen ist. So stellt beigegebene Fig. 23 einen Hammer dar, den man, nachdem er im Stielloch gebrochen war, von neuem durchbohrt hat, um ihn zu behelmen. Ein Beweis, daß das Bohren noch immer relativ einfacher war als das Zurichten und Schleifen eines neuen Hammersteins; Fig. 24 stellt eine unvollendet gebliebene Bohrung dar. Ein ringförmiger Raum, dessen äußerer Durchmesser dem des herzustellenden Loches entspricht, ist ausgebohrt,


Fig. 23.

---

[1]) Auf eine dem Bohren ähnliche Bearbeitung weisen gleichfalls zahlreiche Steine des größten auf deutschem Boden vorhandenen Ringwalles auf dem Odilienberge in den Vogesen hin, als dessen Erbauer wohl die keltischen Mediomatriker zu gelten haben. (Mitt. vom Anthropol. Cong. Straßburg. Köln. Ztg. 10. VIII. 1907.)

im Innern ist aber ein Gesteinszylinder stehen geblieben. Wahrscheinlich hat man diese Bohrungen mit harten Röhrenknochen ausgeführt, unter die scharfer, mit Wasser angerührter, Sand gebracht wurde. In mäßig harten Gesteinen mag man mit diesem primitiven Instrumente einiges erreicht haben, in den äußerst harten Graniten, Basalten und anderen Gesteinen, deren die alten Ägypter viele bearbeitet haben, mußte man aber ganz andere Bohrwerkzeuge haben; das Vorhandensein solcher Gezähe ist auch tatsächlich konstatiert worden, wenn man auch das Gerät selbst noch nicht kennen gelernt hat. Der Engländer Flinders Petrie hat nämlich in seinem Buche: »The Pyramids and temples of Gizeh« den unwiderleglichen Beweis geliefert, daß den Ägyptern schon vor wenigstens sechs Jahrtausenden der mit harten Steinen besetzte Kernbohrer bekannt war, dessen Wiederanwendung man allgemein als eine Erfindung der neuesten Zeit (Vorschlag von Leschot, 1864) ansieht und dem wir die großen Schnelligkeits- und Sicherheitserfolge der modernen Bohrtechnik zu danken haben.

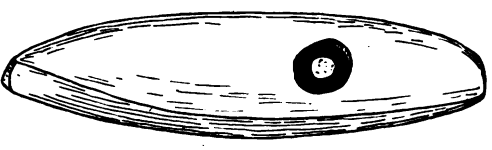


Fig. 24.

Daß den Ägyptern die Verwendung von Edelsteinen zum Schneiden harter Gesteine bekannt war, durfte man schon aus der Existenz der mit Hieroglyphen bedeckten Säulen und Vasen usw. aus harten Materialien vermuten. Die Schriftzeichen sind nicht ausgeschabt oder ausgeschliffen, sondern gefurcht; da die Linien außerordentlich fein sind (nur $^1/_{150}$ Zoll stark), so ist es klar, daß die schneidende Spitze viel härter als der Quarz sein müßte, den sie schnitt. Die parallelen Linien sind oft nur 1 mm voneinander entfernt geschnitten; wir können daher unbedenklich annehmen, daß das Einschneiden mittels Edelsteinspitzen vorgenommen wurde. Die aus »Freise, Die Anwendung des Diamanten in der Technik der Steinbearbeitung«, Steinbruch 1906, S. 143, nach »Fauck, Neuerungen in der Tiefbohrtechnik, 1889« entnommene Fig. 25 stellt einen aus einem Bohrloche in Gizeh ausgebrochenen Granitkern dar, an dem weitere Anzeichen für die Benützung von Edelsteinspitzen in Gestalt von regelmäßigen und ringsum gleichmäßig tiefen Spiralringen — hätte man loses Pulver gebraucht, so wäre der Schnitt im Quarz nicht so tief wie der im Feldspath — in genauer Symmetrie zur Achse zu erkennen sind. Die Fig. 26 stellt ein Bohrloch vom Granittempel in Gizeh dar; der Kern ist in einer Länge von 0,8 Zoll im Bohrloch



Fig. 25.

zurückgeblieben. Fig. 27 ist ein Kern aus Alabaster, gefunden in Kem Ahmar.

Das engste im Granit hergestellte Bohrloch hatte nach Fauck (a. a. O. S. 7) einen Durchmesser von 50 mm; die noch engeren Bohrlöcher standen im Kalk oder Alabaster an. Eigentümlich ist, daß die Kerne sich nach oben verjüngen, während die Bohrzylinder nach oben weiter werden. Dieser Umstand mag wohl darauf deuten, daß man keine sorgsame und fließende Wasserspülung benützt hat. Nach diesen Funden kann man sich den Kernbohrer als Bronzerohr mit eingesetzten Diamanten vorstellen. Die Rohre waren 1/4—5 Zoll (außen) weit und 1/30—1/5 Zoll stark. Daß man im Altertume zum Steingravieren wahre Diamanten kannte, beweist die Äußerung des Plinius (Hist. nat. XXXVII, 5. 15), daß »die Steinschneider die Diamantsplitter in Eisen fassen und ohne Schwierigkeit damit in jeden anderen Stoff graben«. Daß man Bronzerohre zum Einsetzen der Bohrdiamanten benützte, beweisen die nach Flinders Petrie in den Bohrlöchern gefundenen grün überzogenen Sandkörnchen, sowie der grüne Anlauf der Bohrlochwandungen, der außerdem die Verwendung einer geringen Wasserspülung ersichtlich macht.



Fig. 26.

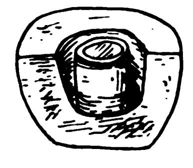


Fig. 27.

Angewendet wurden solche Gesteinsbohrarbeiten auch dann, wenn mehrere Säulenstümpfe aufeinanderzusetzen waren, um eine große Säule daraus herzustellen. Man füllte dann die in der Achse jedes Stumpfes je zur Hälfte hergestellte Bohrung mit einem passenden Verbindungsbolzen aus, den man in der unteren Säulenpartie verbleite oder sonst befestigte. In größtem Maßstabe kann man dagegen die genannten Arbeiten im Innern der auf anstehendem Fels aufgerichteten großen Pyramide von Gizeh sehen. In El Birscheh sieht man nach Flinders Petrie die Spuren von 18 Zoll tiefen Bohrungen, mit Hilfe deren man eine Kalksteinplattform abgetragen hat.

Sehr überraschend ist die Größe des aufgewendeten Druckes; bei den 4 Zoll weiten Bohrungen nimmt Flinders Petrie einen Minimaldruck von 1—2 t im Granit an. An dem in der ersten Figur wiedergegebenen Granitkern sinkt die Spirale des Schnittes im Umfange von 6 Zoll um 0,1 Zoll, d. h. 1 : 60, eine für Granit ganz staunenerregende Leistung verratend.

Während die im vorstehenden geschilderte Hereintreibe- und Gesteinsbohrtechnik verhältnismäßig jungen Perioden angehört, ist die Arbeit mit Schlägel und Spitzkeil eine der ältesten bergmännischen

Handarbeiten, deren Gebrauch sich bis in die Zeit der ausschließlichen Benutzung des Steins verfolgen läßt. Harte Knochen- oder Geweihstücke, daneben lange und kantige Steine mußten als Keile dienen, dazu bildete ein größerer rundlicher Stein, in der Faust geführt, die Urform des Hammers. Solche helmlosen Hämmer sind bis zum Gewichte von 9,5 kg (Baue von El Aramo) gefunden worden. Die Herstellung zweckdienlicherer Werkzeuge führte später zum Zurechtschlagen des natürlichen Steines. Als Material für die Hämmer wurde, da es hierbei auf ziemlich bedeutende Festigkeit ankommt, neben den hornblendehaltigen Gesteinen Diorit, Gabbro und Serpentin namentlich die zähen Materialien Nephrit, Jadeit und die mit ihnen verwandten Mineralien Saussurit und Chloromelanit benutzt. Auch Süßwasserquarz und Kieselschiefer, sowie dichte Lava kommen als Material zu Hämmern vor.

Wo derartiges Gestein in größerer Menge und besonders geeigneter Qualität zu finden war, da entstanden förmliche Bergbaubetriebe auf dasselbe, an welche sich Werkstätten für die Herstellung von Geräten und Werkzeuge anschlossen, wo das Material für den oft weit ausgreifenden Tauschverkehr bearbeitet wurde. Derartige Werkstätten haben z. B. in der Umgegend von Mons in Belgien (Glückauf, Essen, 1894, S. 1323), bei Kent (Globus 1900, S. 200), bei Syrakus bestanden. Aus Asien sind Nephritsteinbrüche am Karakusch durch A. v. Schlagintweit bekannt geworden (Globus 1900, Nr. 19), auch bei Khotan; ferner sind am Baikalsee Nephritwerkstätten gefunden worden. In Nordamerika haben bei Seneca, Missouri (Globus 1895, Nr. 147) und an der Mündung des Ontonagonflusses in den Oberen See (Glückauf 1879, Nr. 58) solche Steinwerkstätten bestanden, ebenso wie bei Pachuca in Mexiko.

Um dem Schlage eine größere Wucht zu geben, andererseits wohl auch um einer schnellen Ermüdung in etwa vorzubeugen, wurden mit der fortschreitenden Entwicklung der Bergtechnik die Steinhämmer behelmt. Die Art der Befestigung hat im Laufe der Zeit wesentliche Wandlungen erfahren. Die Stiele schwererer Fäustel wurden aus einer Rute gebildet, die zusammengebogen und dann mittels Riemen in einer um den Stein herumlaufenden, eingeschlagenen Rinne befestigt wurde, so daß also ein zweifacher Stiel entstand. Hierbei drehte man die Weide an der Stelle der stärksten Krümmung auf, analog wie das heute auch noch die Korbflechter zu tun pflegen. Solche Fäustel sind aus vielen antiken Bergbauen bekannt geworden, die Behelmung ist aber nur selten konserviert geblieben; von den Tschudengruben am Altai beschreibt sie Pallas (Reisen d. versch. Prov. d. russ. Reiches, 1771—76, Bd. II, S. 592 ff.) und nach ihm Hellwaldt (Zentralasien,

S. 81); vom Mitterberg beschreibt sie Much (Das vorgeschichtliche Kupferbergwerk auf dem Mitterberge, Wien 1879, S. 14). Je ein Exemplar aus den Kupfergruben von El Aramo und aus Rio Tinto zeigen die Figuren 28 und 29 (nach Treptow, Mineralbenutzung in

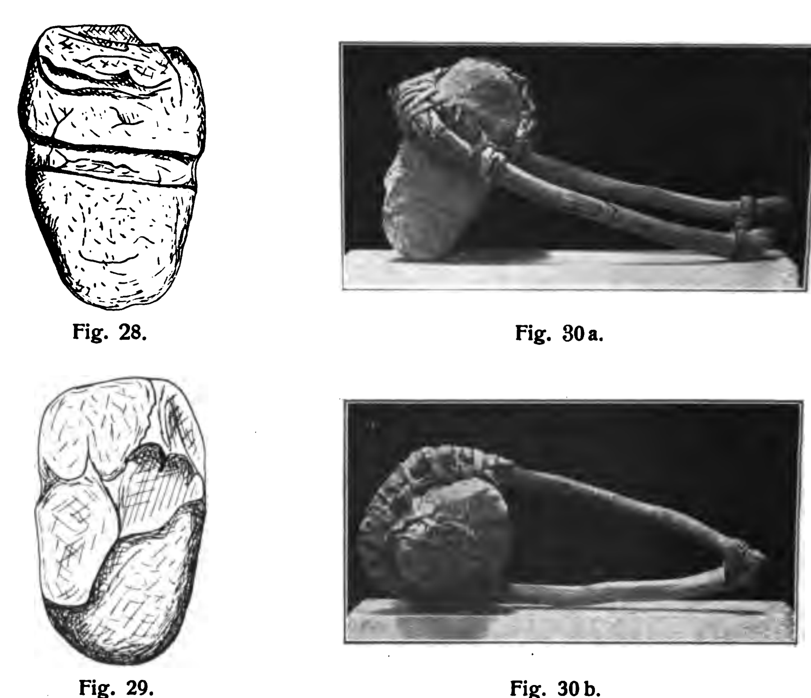


Fig. 28. Fig. 30 a.

Fig. 29. Fig. 30 b.

vor- und frühgeschichtlicher Zeit, Freiberg 1901, Craz & Gerlach, S. 16). Die Originale besitzt die Bergakademie Freiberg. Ein mit Behelmung erhaltenes Exemplar aus Chile — Chuquiquamata; Original gleichfalls in Freiberg — ist in den beiden Figuren 30 a und b dargestellt. Vom Oberen See sind sie bis zum Gewicht von 18 kg bekannt geworden (Treptow, Mineralbenutzung, S. 17).

Fig. 31.

Später wurden die Fäustel zur Aufnahme des Stieles durchbohrt. Sie kommen erst gegen Ende der Steinzeit auf, wenn sie nicht gar unter dem Einflusse metallener Vorbilder entstanden sind, analog, wie die Bestielung der Steinhämmer in der oben angegebenen Weise die Metalläxte ihrerseits insofern beeinflußt hat, als auch diese zuerst ohne Lochung benutzt, vielmehr durch Einstecken in das eine gespaltene Ende eines krummgewachsenen Astes geschäftet und dann durch Umbinden mit Schnüren festgehalten wurden (vgl. hierzu Fig. 31). Die

durchbohrten Steinhämmer tragen das Schaftloch meist etwas nach dem Rücken zu gelegen, so daß nur einseitig benutzbare Geräte entstehen. Nach den auf uns gekommenen unvollendeten Stücken und zahlreichen Bohrkernen zu schließen, geschah die Durchbohrung mit Hilfe eines hohlen Zylinders aus Horn- oder Knochensubstanz, während das eigentliche Agens feuchter und scharfer Sand war, den man während des — etwa durch Bogen und Sehne bewirkten — abwechselnden Hin- und Herdrehens zwischen den Bohrer und das entstehende Bohrloch streute.

Der bekannte österreichische Altertumsforscher Graf Wurmbrand hat seinerzeit aus zwei vertikalen Ästen, einem zur Aufnahme der Bohrvorrichtung gelochten Querast aus Hirschhorn und einer in einem vertikalen Stab verschnürten Geweihendsprosse als Bohrer, einen Apparat zusammengestellt, wie er wohl zur Ausführung dieser Bohrarbeiten gedient haben kann. Schon 1875 erbrachte Wurmbrand damit durch wiederholte Bohrungen in Serpentin und anderen Gesteinen den Nachweis der Möglichkeit der Durchbohrung von Steinsachen ohne Anwendung von Metall [1]).

Ebenso wie die Steinfäustel durch das ganze Altertum hindurch eine überraschende Formenkonstanz aufweisen, finden sich auch die metallenen Schlägel in denselben Gestalten bei Japanern, Chinesen, Ägyptern, Tschuden, Kelten, Griechen, Römern und Germanen. Sie bestehen aus Eisen, Stahl oder Bronze, bei den Tschuden aus Kupfer, und weichen in ihren Grundformen kaum von den heutigen Hammermodellen ab. Entweder sind sie beiderseits flach und dann durchweg vierkantig, sowie mit einem meist runden Stielloche versehen, so daß sie von beiden Seiten zum Treiben des Keiles oder zum Zerschlagen gebraucht werden können, oder sie sind nur auf einer Seite platt, auf der anderen aber in einer stumpfen Spitze ausgezogen, so daß sie einerseits zum Antreiben des Keiles, andererseits zum Spalten Anwendung finden können. Fig. 32 zeigt einen laurischen Berghammer, τυπίς, nach Ardaillon, Les mines du Laurion dans l'antiquité, Paris, Fontemoing, 1897, S. 21. Ein analoger Hammer ist in der alten Grube von la Baume bei Villefranche (Aveyron) gefunden worden (s. Daubrée, Revue archéol. 1881, p. 207, Fig. 5).



Fig. 32.

Im Steinbruchsbetriebe wandten die Alten glatte und gezahnte Sägen, Feilen und Steinmeißel an. Als eigentliches

[1]) Nicht unerwähnt soll bleiben, daß die Römer die steinernen Geräte als vom Himmel gefallen ansahen und sie selbst nicht zum Arbeiten benutzten, sondern mit abergläubischer Verehrung behandelten und bei Opfern und anderen religiösen Handlungen gebrauchten.

Agens benutzte man Sand beim Sägen; als die besten Sorten nennt Plinius (Hist. nat. XXXVI, 9) den »aus dem Mohrenlande und den aus Indien« [1]).

Zum Antriebe der Steinsägen — Plinius kennt sie (Hist. nat. XXXVI, 44: In Belgica provincia serra lapidem secant) aus dem belgischen Gallien — wandte man im 4. Jahrhundert Wasserkraft an; in dem Moselliede des Ausonius, in dem der Gelbis (Kyll) und der »marmore clarus Erubrus«, der durch »Marmor« (hier ist aber »Schiefer« zu lesen) berühmte Ruver gepriesen werden, heißt es unter anderem:

> »Weit ist Gelbis bekannt durch edle Fische, doch an jenem,
> Wo der Ceres Gestein in unaufhörlichem Schwung sich
> Dreht und die knarrende Säge den glatten Marmor zerteilet,
> Hört man beiden Ufern entlang anhaltend Getöse.«

Neben der Gesteinsarbeit mit dem Eisen ist die Hereingewinnung mittels Feuersetzens uralt. In den prähistorischen Gruben am Mitterberge und am Altai gleich wie in den ägyptischen Gruben, bei der Schmirgelgewinnung auf Naxos, in allen alten Römerbauen, in Frankreich, England, Ungarn, findet man durch Feuersetzen aufgefahrene Strecken, die sich zum Unterschiede von mit dem Gezähe vorgetriebenen Bauen durch einen hohen, in der Firste spitzbogenartig gestalteten Querschnitt, eine Folge der nach oben intensiver zur Geltung kommenden Flamme, auszeichnen.

Auch den Juden war das Feuersetzen bekannt, wie aus Jeremias 23, v. 29, am besten aber aus Hiob 28, v. 5, zu schließen ist. Dort heißt es: Ist nicht mein Wort wie Feuer (spricht der Herr) und wie ein Hammer, damit man die Berge einwirft? Hier aber: Ein Erdreich, darauf Speise wächst, wird unten umgewühlt vom Feuer (Vulgata: Terra, de qua oriebatur panis in suo loco, igni subversa est). Im laurischen Gebiete hat man dagegen aus mehreren Gründen kein Feuersetzen angewendet; zunächst wegen des permanenten Holzmangels, der die Griechen sogar zur Seeeinfuhr von Brennholz zum Gebrauch in den Schmelzstätten zwang, dann aber auch wegen der minder großen Gesteinshärte, welche bei einer Arbeit mit dem Eisen noch gute Resultate erzielen ließ.

---

[1]) Steinsägen sind auch von den oben bereits genannten Mediomatrikern am Odilienberge angewandt worden, woselbst gewisse, von altersher bekannte Einschnitte im anstehenden Gestein nicht, wie man früher annahm, Blutrinnen für heidnische Opfer gewesen, sondern eben dem mit Sand vorgenommenen Absägen der Blöcke ihre Entstehung verdanken (Köln. Ztg., 10. VIII. 1907).

Daß man tatsächlich nur die äußerst harten Gesteine mit Feuer angriff, erhellt u. a. aus Diodor (l. III, c. 6), wo es heißt: terram auro gravidam, ubi durissima est, igni subactam emolliunt et tum demum manuum opus adhibent; und Plinius sagt: occurrunt silices; hos igne et aceto rumpunt (Hist. nat. I, 33).

Außer aus tatsächlichen Funden kennen wir aus den alten Schriften eine Reihe von Gelegenheiten, wo man sich des Feuersetzens zur Gewinnung von Gestein bedient hat. So erzählt Cassius Dio (36, 8), daß die Mauern der böotischen Stadt Eleutherion mit Essig gesprengt worden seien. Hier könnte man allerdings, vorausgesetzt, die Mauern seien aus Kalksteinen aufgeführt gewesen, auch an eine langsame Lösung des Steinmaterials durch aufgegossenen [warmen?] Essig denken. Galenus berichtet (I, 22, 16), der Essig durchdringe Stein, Erz, Eisen, Blei gleich dem Feuer. Ähnliches sagt auch Plinius (Hist. nat. XXIII, 27) von dem Essig: Saxa rumpit infusum, quae non ruperit ignis antecedens.

Ein großartiges Beispiel von Feuersetzen finden wir endlich in der livianischen Erzählung von Hannibals Alpenübergang. Hierüber heißt es (Liv. XXI, 36 u. 37): Die Soldaten wurden beordert, einen Felsen zu ebnen, über den man unbedingt den Weg nehmen mußte; zu dem Zwecke wurden ringsum sehr große Bäume gefällt, und aus deren Ästen und Stämmen ein außerordentlich hoher Holzstoß erzeugt, den man bei einem mächtigen, die Verbreitung der Flamme begünstigenden Winde anzündete. Das durch den Brand glühend gemachte Gestein wurde durch aufgegossenen Essig mürbe gemacht, und durch das erhitzte und gebräch gewordene Gestein bahnte man mit eisernen Hauen einen Weg, der nicht nur den Lasttieren, sondern auch den Kriegselefanten einen bequemen Übergang ermöglichte.

Beiläufig erwähnt, mögen die Punier, wie auch Plinius zu tun scheint, dem Essig (oder Essigwasser, welches sie als Getränk in reichlicher Menge mit sich führten — posca —) eine besondere Wirkung beigemessen haben, sonst würden sie die heißen Felsen wohl mit dem reichlich vorhandenen Schnee resp. Schneewasser abgekühlt haben (Hoppe, Beitr. z. Gesch. d. Erfind., Heft I, 1889, Clausthal). Das Gestein riß man nach dem Erkalten mit Brecheisen herein oder trieb es mit Keilen ab; zum Anfassen noch heißer Brocken hatte man, wie aus einem 1903 bei Palazuelos bei Linares gefundenen Relief hervorgeht (Notiz Köln. Ztg., 6. Juni 1903), gelegentlich eiserne Zangen zur Hand.

Lange war ungewiß, ob den Amerikanern das Feuersetzen bekannt war. Namentlich hat man es den Kupferbergleuten des

Oberen Sees abgesprochen, da man sich mit der — angeblichen — Unbekanntschaft des Kupferschmelzens die Anwendung des Feuers zur Gesteinsgewinnung nicht hatte erklären können. Es sind jedoch nicht nur gegossene Geräte aus Kupfer gefunden worden, so z. B. eine Axt von der Form, wie sie in den mounds vorkommt, zu Auburn, Cayuga Cty, New-York (Squier, Oboriginal Monuments of the State of New-York, Washington 1849, S. 78), sondern man hat auch in den Gruben selbst Spuren des Feuersetzens entdeckt. Schmidt (Archiv für Anthropologie XI, S. 65 ff.), Rivot (Berg- und Hüttenmänn. Zeitung 1856, S. 326), Dieffenbach (ebenda 1858, S. 27) haben Mitteilung gemacht von in den Bauen gefundenen Haufen von Holzkohlen und Asche, die man nur als Reste von Feuersetzen denken kann. Nach Sir John Lubbocks »Prehistoric Times« (S. 219 ff.) brannten die Indianer Opferfeuer in vertieften Herdgruben von 5—8 Fuß Durchmesser und 10—20 Zoll Tiefe, in denen man außer Asche und Knochen viele Gegenstände des Gewerbefleißes findet, daher die Indianer leicht das Schmelzen von Kupfer lernen konnten.

In Peru finden sich (Ann. d. mines 1882, VIII. S., T. II, p. 571) sehr alte Steinbrüche auf dem Isthmus von Copacabana, die mit Feuersetzen getrieben wurden.

Als letzte der von den Alten ausgeübten Gewinnungsarbeiten sei das unserem »hydraulic mining« vollkommen entsprechende Verfahren der Hereingewinnung von Gestein durch strömendes Wasser hier erwähnt, von dem Plinius bei Gelegenheit des auf den nordwestspanischen Goldlagerstätten umgehenden riesigen Bruchbaues redet. Lassen wir dem Autor selbst das Wort: . . . »Meilenweit leitet man die Wasser über die Berge, dabei muß man das Gefälle bis zur Mündung möglichst stark nehmen, also das Wasser von den höchsten Gegenden herholen. Täler werden überbrückt und das Wasser darüber fortgeleitet. Wo zu steile, unzugängliche Felsen sind, werden sie zur Aufnahme der zum Kanalgerinne nötigen Balken und Bohlen ausgehöhlt. Die diese Arbeiten verrichtenden Leute hängen an Seilen, so daß sie von ferne nicht einmal wie ein Wild, sondern wie ein Vogel aussehen. Sie schweben in der Luft hin und her und zeichnen dem Kanal den Weg vor; ihre Hände räumen den Schutt und das Gerölle in Körben fort . . . An den obersten Abhängen der Berge legt man Teiche als Wasserreservoirs an, 200 Quadratfuß groß bei 10 Fuß Tiefe. An ihnen läßt man fünf je drei Quadratfuß große Auslauföffnungen. Sobald ein Reservoir voll ist, zieht man die Schützen und der Strom stürzt mit solcher Gewalt fort, daß er Felsen fortbewegt . . . Hierauf beginnt die Anreicherungsarbeit in der Ebene« usw.

e) Grubenausbau.

Betrachten wir nunmehr den Ausbau der Grubenräume und die Mittel zu ihrer Offenhaltung während des Betriebes. Wohlbekannt war sowohl den vorhistorischen Bergleuten, wie den Japanern, Chinesen, Nordamerikanern und den Ägyptern, den Griechen, Etruskern und Römern die Tatsache, daß die Form der Grubenräume von Einfluß auf deren Standhaftigkeit sei, deswegen finden wir ausnahmslos die Baue in der Firste gewölbeartig gehalten, so daß die Last des Hangenden vorwiegend auf die Stöße übertragen wird. Gangbergbaue und kleinere Weitungen finden sich fast ohne Ausnahme ohne eine Spur von Ausbau; in den größeren Weiten blieben Stützpfeiler stehen (μεσοχρίνεῖς, δρμοι, ὁμοερχεις, χίονες, fornices crebri montibus sustinendis), deren Aufrechterhaltung im laurischen Bergbaubezirke, wie bereits gesagt, durch Gesetz geboten war. Von einem Vergehen gegen dies Gesetz, von einem gewissen Diphilos begangen, kennen wir auch die Ahndung (aus Plutarchs Lycurg). Der Schuldige mußte den Giftbecher leeren und verlor seine ganze Habe im Betrage von 160 Talenten (fast $^{3}/_{4}$ Millionen Mark), die unter die Bürger verteilt wurden.

Die künstlichen Mittel zur Stützung des Hangenden bestehen in den Indianerbergbauen am Oberen See aus großen, oft weit hergeholten Steinen, aus denen regelrechte Pfeiler zusammengesetzt sind, je nach der im übrigen sehr wechselnden Höhe der Baue, sonst entweder aus Bergemauerungen, bei denen, wie in den etruskischen Betrieben, hinter einer Packung von groben Gesteinsstücken kleiner Schutt gefüllt wurde, oder aber aus Holzstempeln, bzw. Verbindungen von mehreren Hölzern. Holz ist als Material zum Grubenausbau während des ganzen Altertums immerhin recht selten; wohl deshalb, weil man es in der Hauptsache als Brennmaterial für die Feuersetzarbeit und die Schmelzhütten benützen mußte. Plinius erwähnt Holz als Ausbaumaterial bei seiner umständlichen Schilderung des spanischen Goldbergbaues: Tellus ligneis columnis suspenditur (Hist. nat. XXXIII, 4. 21 ff.). Einen Rest alter römischer Streckenzimmerung fand man in der Katalin-Monulestigrube im Letier Revier zu Verespatak (vgl. Pošepný, Röm. Schöpfrad in »Österr. Zeitschr.« 1877, S. 391, dgl. 1868, S. 153, 165). Die einzelnen Türstöcke standen unmittelbar aneinander; die Verbindung zwischen Stempel und Kappe geschah mittels langer am Stempel angeschnittener Zapfen, welche in Durchbrechungen der Kappe paßten. Ähnlichen Ausbau fand man in sardinischen Römergruben. Etwas hiervon abweichend sind die in den toskanischen Gruben von Selvena bei Sta. Fiora am Monte Amiata gefundenen römischen Türstöcke konstruiert

gewesen, von denen nebenstehende Fig. 33 (nach eigner Aufnahme des Verfassers) ein Bild gibt. Die Stempel sind unten zugespitzt und etwa 10 cm unter der oberen Endfläche von einem 3·5 qcm großen Loch durchbrochen, in welches die Zapfen der Rundholzkappe passen. Die Verbindung schützt mehr gegen seitlichen als gegen Firstendruck. An eben derselben Stelle fand sich auch eine größere Anzahl von Nadelholzzapfen, von denen zu vermuten ist, daß sie aus zur Verschalung hinter der Zimmerung benutzten Zweigen herstammen. Letztere sind vermodert, und nur die daranhängenden Früchte haben sich erhalten und erinnern an die »Nüsse« der Wetterauer Braunkohle, die sich ebenfalls ganz gut erhalten konnten, während die Struktur der dazu gehörenden Hölzer vollständig verloren ging.

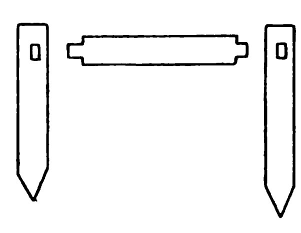


Fig. 33.

Schachtausbau findet sich nur sehr selten; wenn solcher vorhanden ist, so ist es trockene Mauerung aus groben Steinen, einige Meter von dem Mundloche an sich abwärts erstreckend. Sie diente dann zur Festhaltung der losen Schuttmassen, welche aus dem Abteufen des Schachtes gefallen waren, und welche man als Schachthalde aufgestürzt hatte. In einem von den Römern herrührenden Gesenk in der Bleierzlagerstätte des Tanzberges bei Keldenich, unweit Mechernich, fand sich ein Ausbau im ganzen Schrot, dessen einzelne Jöcher gleichfalls durch Verzapfung ineinandergefügt waren. Ähnlicher Brunnenausbau fand sich auf der Saalburg bei Homburg v. d. H.

f) Förderung.

Ebenso primitiv wie der Grubenausbau war auch die Förderung. Da in den weitaus allermeisten Fällen die Ausdehnung der metallführenden Lagerstätte das Maß für die Weite der Strecken und Baue war, so ist es erklärlich, daß die letzteren unregelmäßig sind; wer in einen solchen einfährt, kann nur gebückt oder kriechend, ja nicht selten nur auf allen Vieren voranfahren. Als Fördergefäße dienten Säcke, geflochtene oder aus Brettern zusammengesetzte Tröge, kleine Kesselchen aus Blech. Innerhalb der Strecken förderte man wohl meist durch Handreichung bis an die Mündung des Schachtes oder bis in eine größere Kammer, wo man eine Ausschlägelung vornahm. Danach füllte man das Gut in größere Gefäße, die dann entweder von Hand zu Hand durch die auf Spreizen sitzenden Sklaven herausgereicht wurden oder — in flachen Schächten — auf dem Rücken herausgetragen

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel lederne Säcke, für die man die Bezeichnungen σάκκος, σάκκιον, σάκτηρ, oftmals auch θύλακος findet. Die Arbeiter nannte man θυλακοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐκφορεῖν, φορεῖν, θυλακοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλακοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάκοις περιφέροντες τὰ χώματα καὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐκαλουντο καὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

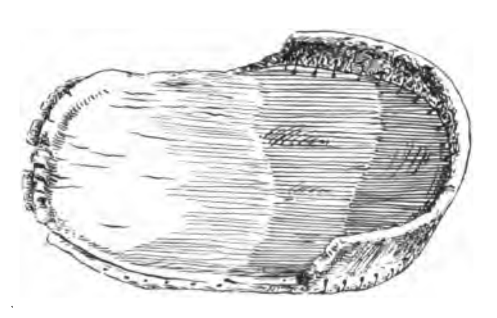
Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34a u. 34b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken



Fig. 34 a. Fig. 34 b.

anliegende mit drei, das breitere der Außenseite mit sechs eingeflochtenen Riemen. Am Rande des Sackes ist das Leder 5 cm breit umgelegt und durch zwei eingeflochtene Riemen befestigt. An die Längsnähte des Sackes sind mittels Riemen zwei etwas gebogene, an mehreren Stellen zwecks Befestigung durchlochte Rippen aus Eschenholz befestigt, welche oben und unten etwas herausragen. Zum Tragen des Korbes dient ein 6 cm breites, 1,20 m langes Lederband, welches unten in 10 cm Höhe durch das Leder gezogen und dann beiderseits dreimal um die Rippen gewunden ist. Da dieser um die Brust und eine Schulter gelegte Riemen zum sicheren Tragen nicht ausreichte, so ist am oberen Sackrande eine 0,4 m lange Tannenholzhandhabe angebracht. An dieser konnte der Sack im Gleichgewichte gehalten werden, während einfaches Loslassen der Handhabe ein Umkippen und Rückwärtsentleeren alsbald zur Folge hatte.

Konnte man diese Säcke am besten in flachen Schächten zum Tragen anwenden, so mußte man, um größere Massen auf ziemlich ebener Sohle fortzuschaffen, Schlepptröge anwenden, die entweder geflochten oder aus Brettern zusammengesetzt sind.


Fig. 35.

Ein zu El Aramo in Asturien gefundener Trog ist in Fig. 35 dargestellt (nach Treptows zit. Arb.). Er besteht aus einem ovalen Boden, an dem mittelst hölzerner Nägel ein niedriger Rand befestigt ist. Auch Reste eines Ledergriffes zum Schleppen finden sich daran.

Hinsichtlich des Massentransportes im Schachte kann man im Altertum zwei verschiedene Methoden unterscheiden. In vielen Fällen sind die Massen durch auf Spreizen sitzende Sklaven herausgereicht worden, in anderen muß man sich auch des Seiles in oder ohne Verbindung mit Haspeln bedient haben. Die Schächte der ersteren Art charakterisieren sich durch einander gegenüberstehende Gesteinslöcher, die den Sitzspreizen als Lager dienten und meistens in Entfernungen von nur 1,0—1,2 m übereinander ausgehauen sind. Bei Seilschächten fehlen indes diese Spuren; meist sind die Stöße ohne jedes Anzeichen eines Einbaus: in seltenen Fällen kann man die Einfuhren für die Wellen von Seilleitrollen bemerken, fast stets aber zeigt der obere Rand des Schachtes mehr oder weniger tiefe, vom Seil im Laufe der Zeit eingeschnittene Furchen. Man hat in solchen Fällen wohl Pferde oder

andere Tiere zum Seilziehen angewendet. In solchen Fällen hat man anscheinend manchmal Strecken- und Schachttransport miteinander in einer allerdings sehr primitiven Art vereinigt, indem man das zu fördernde Gut unmittelbar am Ort der Einfüllung in das Fördergefäß — Sack oder Trog — ans Seil schlug und dann zutage zog. Heute findet man diese Art der Förderung noch bei dem Herausbringen großer Basaltblöcke aus den unterirdischen Brüchen bei Mayen und Niedermendig, in einer Industrie, die überhaupt manche archaistische Formen bewahrt hat.

Die Ägypter wandten Seile aus Baumwolle, die Phönizier solche aus Flachs beim Bau der Brücke des Xerxes über den Hellespont in Verbindung mit Drehwinden an (Herodot VII, 36); aus dem Buche Hiob kennen wir Andeutungen über die Anwendung des Seiles (Kap. 28, Vers 4): »Gänge bricht man fern von den Angehörigen, von dem Fuß vergessen, hängen sie, fern von Menschen wanken sie.«

Nach Diodor (II, 2, 15) wurden zu Persepolis besondere Maschinen — Haspel — benutzt, um die Särge der Könige in die hoch im Felsen gehauenen Gräber zu schaffen.

Aus dem Bauwesen kennt Vitruv u. a. auch den Kreuzhaspel, sucula, den man mit Hilfe von vier Hebeln, rectis, bewegte, und es ist wohl anzunehmen, daß man diese Maschine, die genannter Autor (Arch. X, 8) in Verbindung mit Seil und fester Rolle geradezu als Fördermaschine bezeichnet, auch im Bergbau angewendet habe.

Schon die vorgeschichtlichen Bergleute in El Aramo und auf dem Mitterberge müssen den Haspel gekannt haben; denn am ersteren Orte zeigten mehrere gänzlich leere Schächte an den Stößen Seilspuren, und am Mitterberge fand sich (s. Much, Das vorgesch. Bergwerk, S. 13) ein Exemplar eines solchen in der halben Höhe eines Schachtes. Er lief mit seinen Achszapfen in zwei in den Felsen eingeklemmten Lagern aus Holz und zeigte noch deutlich die Treibspeichen.

In mehreren vorrömischen Schächten bei Agrigent fanden sich gleichfalls Spuren des Heraufziehens von Steinen an den Stößen (Holm, Gesch. Siziliens, I, S. 140), und in den alten Bleigruben Toskanas waren in den kaum 1/2 m im Quadrat messenden Schächten (nach Haupt in Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1856, S. 88) etwa alle 10 m im Gestein die Löcher zu sehen, welche die Achsen der dem Seil als Führung dienenden Rollen getragen hatten.

Einen Kreuzhaspel fand Verfasser bei Selvena am Monte Amiata in — mutmaßlich — etruskischen Bauen. Die Treibspeichen waren tangential in trapezförmigen Einschnitten durch Keile befestigt.

Über Tage transportierte man Lasten nach der einen oder anderen der im folgenden angegebenen Methoden.

Zum Fortschaffen großer Steinblöcke bediente man sich hölzerner Walzen, die von Pollux als λιθουλκοί, von Plinius (Hist. nat. XXXV, 15) als extempores, von Paullus Silentiarius als δουρατέος κύλινδρος bezeichnet werden.

Auf den Gebirgshängen wurden die Lasten nach Strabo (XI, 43) in der Weise zu Tal geschafft, daß sich Schlepper und Last auf ledernen Schleppen (Felle, Säcke) heruntergleiten ließen, in derselben Weise, wie es bis vor kurzem nach am Erzberge in Steiermark der Fall war — Sackzüge —. Strabo kennt diese Art zu transportieren aus dem Kaukasus, aus Media Atropatene und vom Berge Masius.

Des Transportes auf Tieren soll hier nur beiläufig gedacht werden. Ferner sei anhangsweise erwähnt, daß man gelegentlich zum Fortschaffen schwerer Gegenstände auf ungünstigem Grunde künstliche Gleise anlegte. So berichtet E. v. Lasaulx (Untergang des Hellenisums, Münster, 1854, S. 47, nach anderen Quellen), daß Konstantin der Große, als er den aus Theben stammenden Obelisken von 100 Fuß Höhe von Rom von Konstantinopel bringen ließ, den Monolith am Sophientore auf einem mit Eisenschienen belegten Wege über das weiche Terrain habe transportieren lassen.

Daß man im alten Ägypten vor dem Aufbau der Pyramiden Pflasterstraßen anlegte, um die großen Bausteine besser fortbringen zu können, sei hier nur angedeutet.

g) Fahrung.

In den mäßig einfallenden Strecken dienten zur Fahrung, sobald die glatte Sohle nicht mehr den erforderlichen Halt bieten konnte, Treppenstufen, die im Sohlengestein ausgehauen waren; in den steilen Bauen fuhr man entweder auf Steigbäumen oder auf Leitern.

Die alten Japaner benutzten mit Kerben versehene Rundholzsteigbäume, deren Gestalt Fig. 36 (nach Netto [1]) zeigt.

In Minnesota fand sich in einer vorcolumbischen Indianergrube ein Baum, dessen Äste kurz abgehauen waren, als Steigbaum (Schmidt im Arch. f. Anthrop. XI, S. 65).

Auch in der Katalin-Monulestigrube bei Verespatak hat sich ein Steigbaum gefunden (Pošepný a. o. a. O.).

[1]) Über japanisches Berg- und Hüttenwesen. Mitteil. d. dtsch. Ges. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens. II. 1879, S. 367. Mit 2 Tafeln.

Die antiken *Fahrten* unterscheiden sich in nichts von den heute üblichen Formen; auf der in Fig. 37 dargestellten Reproduktion einer jener bei Korinth gefundenen Tontafeln, die sich heute zum größten Teile in Berlin, zum geringeren in Paris und London befinden, und von denen eine Auslese in dem vom Kgl. Archäol. Institute herausgegebenen Prachtwerke »Antike Denkmäler« enthalten ist, ist auf der linken Seite eine Leiter angedeutet.

Nicht selten, namentlich in römischen Gruben, hat man größere Abschnitte von Schächten voll-

Fig. 36.

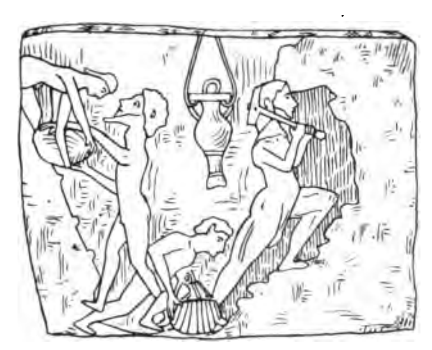


Fig. 37.

kommen ohne jede Spur von Ein- oder Ausbau gefunden. Dies geschah nur zu dem Zwecke, ein Entweichen der in den Bauen angelegten Sklaven zu verhindern. Bei einem feindlichen Überfalle entflohen dann vielleicht die Aufseher, unbekümmert um das Los der Sklaven.

h) Beleuchtung.

Zur *Beleuchtung* bediente man sich hölzerner Späne, bei Chinesen und Japanern solcher aus geklopftem Bambus, kleiner Reisigbündelchen, mit Tierfett getränkt oder mit fettgetränkten Fellstreifen umwunden, endlich auch tönerner oder metallener Öllampen. In den verschiedenen antiken Grubenbezirken sind viele der letzteren gefunden worden; sie sind bis auf eine oder zwei Öffnungen (zum Füllen und zum Dochtauslaß) ringsum geschlossen, im allgemeinen etwa 10 cm lang und etwa 7 cm im Lichten weit. In China und Japan benutzte man auch Schneckengehäuse, die mit Öl oder Fett gefüllt waren. Römische Grubenlampen zeigen die Figuren 38 und 39. Sie wurden entweder in Nischen des Stoßes aufgestellt oder aber vor der Stirn getragen (Diodor III, 12, 6). Letztere Art der Beleuchtung hat Veranlassung zu der Sage von den *einäugigen Menschen* (Arimaspuer bei

Herodot, Polyphem bei Homer usw.) gegeben. Größere Kammern hat man auch, nach dem eben erwähnten korinthischen Weihetäfelchen (siehe Fig. 37) zu schließen, durch von der Decke herabhängende Lampen beleuchtet. Als Leuchtmaterial diente wohl zumeist aus Pflanzen ausgepreßtes Öl. Ausdrücklich bezeugt dies Strabo (XVII, 321) von den Ägyptern; diese säten nach seinem Zeugnisse eine mit dem Namen Kiki belegte Frucht, deren Öl sich fast alle Landeseinwohner

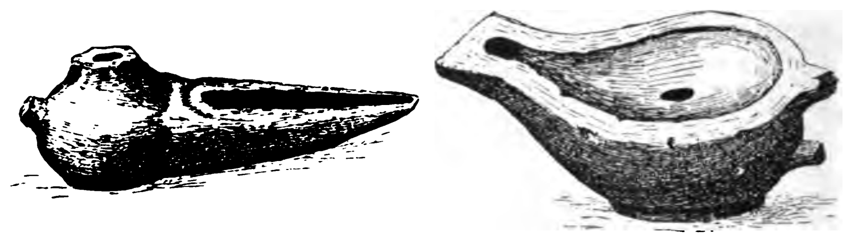


Fig. 38. Fig. 39.

zum Brennen in den Lampen bedienten, das aber von den ärmeren Leuten auch zum Salben benutzt wurde.

Daß man gelegentlich auch Petroleum als Leuchtstoff benutzt habe, dürfen wir bei der allgemeinen Bekanntschaft des Altertums mit diesem Stoffe und seinen Verwandten ruhig annehmen; berichten doch z. B. Dioscorides (I, 99) und Plinius (XXXV, 51) von der Benutzung des als πίττασφαλτος, bitumen pissasphaltum, benannten Materials ausführlich. Übrigens scheint man nach den von Plinius über den bereits mehrfach zitierten spanischen Bruchbau beigebrachten Notizen in manchen Fällen die Arbeit im Finstern verrichtet zu haben (multisque mensibus non cernitur dies), wenigstens aber bei der von Hand zu Hand bewerkstelligten Haufwerksförderung.

i) Wetterversorgung.

Im allgemeinen waren die Vorkehrungen der Alten zur Wetterbeschaffung und Wetterverteilung in den Gruben ziemlich primitiv. Maschinelle Einrichtungen waren ihnen durchaus unbekannt, so daß man nur auf die natürliche Bewegung der Luft auf Grund von Temperatur- oder Höhenunterschieden angewiesen war.

Berücksichtigt man, daß sehr viele antike Gruben mehrere Dutzend Meter tief hinabgingen — die laurischen Gruben sind vielfach mehr als 50 m tief, im oberen Elsaß sind die Römerbaue bis auf 200 Toisen (flach gemessen), in Spanien nach Diodorus und Strabo bis auf viele Stadien flache Länge vorgedrungen; Gobet (I, p. 187) kennt aus Asturien und den Pyrenäen Römerbaue, die bis 1400 Fuß flachgemessene

Tiefe hatten; zu Wiesloch beläuft sich die Gesamtlänge aller unterirdischen Strecken auf mehrere Kilometer —, so begreift man, daß die Luft in der Grube recht wenig bewegt werden konnte, wenn man nicht durch eine große Anzahl von Schächten einen kurzen und einfachen Wetterweg schuf. Im laurischen Grubenbezirke scheint geradezu stets ein Zentralschacht einer Anzahl von um ihn liegenden Förderschächten als Wetterschacht gedient zu haben (Kordellas, Le Laurium S. 84, 85). Einzelne Förderschächte besaßen außerdem noch schmale Nebenschächte von 60—80 cm Weite als Luftschächte, ψυχαγώγια (vgl. Strabo III, 147); von den Römern werden diese als aestuaria bezeichnet.

Die Fahrbarkeit eines Schachtes prüfte man nach Plinius (hist. nat. XXXI, 28) durch Hinablassen einer brennenden Lampe: Experimentum periculi est demissa ardens lucerna, si extinguatur. Vor Ort suchte man den Wetterzug durch Schwingen von Leinentüchern zu verbessern (Plinius, l. c.: Fit . . . altitudine ipsa gravior aes, quem emendant assiduo linteorum jactatu eventilando: Die Luft wird mit der Tiefe schwerer; man verbessert sie durch dauerndes Schlagen mit Tüchern). Namentlich in den vom Feuersetzen erhitzen Bauen, in denen sehr viel »vapor et fumus« vorhanden war, wird man dieses Hilfsmittels nicht haben entraten können, um die ohnehin schon wenig beneidenswert gestaltete Arbeit nicht noch mehr zu erschweren. Daß man gelegentlich durch die primitiven Ventilationsmittel nicht viel erzielte, geht am schärfsten aus der von Strabo gegebenen Schilderung der kleinasiatischen Arsenikgruben von Sandaracurgium bei Pompejopolis (bei den heutigen Flüssen Kyzyl Irmak und Jeschil Irmak) hervor. (Strabo XII, 40, 841.) Hier war nicht nur die Arbeit sehr mühselig, sondern die Arbeiter »starben auch wie die Fliegen dahin, vor den aus dem Gebirge aufsteigenden Dünsten«.

Es waren dort mehr als 200 Arbeiter angelegt, die aber binnen kurzem immer wieder durch neue ersetzt werden mußten.

Allerdings mag diese Grube auch wohl einzig hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Verhältnisse dagestanden haben; denn man wußte den Vorzug eines guten Wetterwechsels sehr wohl zu würdigen und erkaufte ihn unter Umständen selbst mit der Herstellung eines zweiten Schachtes, wie Vitruv (VIII, c. 7) angibt. Es heißt hier: »Beim Brunnengraben strömen die giftigen Dünste hervor und belästigen die Arbeiter, die, wenn sie nicht schnell flüchten, ihnen erliegen. Man läßt zum Erkennen der schlechten Wetter eine brennende Lampe in den Schacht, der, wenn die Lampe brennend bleibt, ohne Gefahr befahren werden kann. Verlöscht aber das Licht, so gräbt man einen zweiten Schacht, mit dem man den Dunst verjagt.« Nach dieser Schilderung

Seltener ist die Inangriffnahme einer größeren Lagerstätte in zwei Sohlen zu finden, wie sie bereits in Fig. 2 dargestellt war. Bei den in bezug auf den Inhalt ihrer laurischen Erzlagerstätten äußerst sparsamen Athenern kam eine solche Zweiteilung nur dann vor, wenn es sich um eine relativ arme Partie von großer Mächtigkeit handelte.

Die Ausdehnung der Weitungsbaue war im allgemeinen durch das Maß der bauwürdigen Partien und die Festigkeit des Gesteins gegeben; war die letztere groß genug, so verhieb man selbst Erzmassen von 900—1000 qm Grundfläche, ohne einen Sicherheitspfeiler stehen zu lassen.

Mußte man unbedingt Lagerstättenmasse zur Stützung des hangenden Gesteins in Gestalt von Sicherheitspfeilern, Bergfesten (ὅρμοι, μεσοχρινεῖς, ὁμοερχεῖς) stehen lassen, deren Bestand in Laurion gesetzlich geschützt war, so geschah dies nur in den ärmeren Partieen; dort aber, wo die Ausbeutung eben lohnte, stellte man Mauerpfeiler aus groben Steinen auf.

Auf Gängen folgen die Weitungen tonnlägig dem Einfallen der Lagerstätte, z. B. bei Courmayeur in Piemont (Journ. d. mines, an VII, p. 112), und stehen durch enge Strecken miteinander in Verbindung.

Die alten Japaner betrieben auch unter Tage eine Art von unversetztem Strossenbau, indem sie, dem Laufe der Lagerstätte entsprechend, ein Ort über dem andern mit leichter Neigung aufwärts trieben, bis die Ventilation zu schlecht wurde und man einen Schacht aufbrach.

Ein ganz besonderer Abbau wurde auf den im Nordwesten Spaniens gelegenen Goldvorkommen betrieben, nämlich eine Art von Bruchbau mit nachfolgender Abschwemmarbeit, wodurch das unhaltige Gestein fortgeführt, das haltige dagegen angereichert und gesammelt wurde. Dieser Bauart tut Plinius in seinem 33. Buche, c. 4, 21 mit Bewunderung Erwähnung und stellt sie dabei als der Gigantenarbeit ebenbürtig wie folgt dar: »Von Tage aus treibt man ein System von Stollen und Strecken kreuzweise während vieler Tage und Nächte tief in den Berg, indem man das Gestein mittels Feuersetzens oder Schlägel- und Eisenarbeit bezwingt. Trifft man hierbei auf Kieselstein, so umgeht man diesen mit der Strecke. Wenn man den Berg hinreichend weit durchquert zu haben glaubt, so geht man daran, die zwischen den einzelnen Strecken stehen gelassenen Bergfesten durchzuhauen, um das Zubruchgehen des Hangenden zu beschleunigen. Eine auf der Spitze des Berges stehende Wache beobachtet den Anfang des Niederbrechens und benachrichtigt die Häuer davon, die darauf eilends ihre Arbeit verlassen, während bald darauf der Berg zusammenstürzt. Der ganze Berg zerfällt in Trümmer, der Krach ist entsetzlich, der Luftdruck ganz fürchterlich. Die Leute schauen triumphierend der Vernichtung zu,

haben aber noch kein Gold, konnten auch während des Grabens gar nicht wissen, ob sie welches bekommen würden.« Nachdem man den Berg so zu Bruch gebaut, leitete man, um das in den Schuttmassen vorhandene Metall zu gewinnen, unter großen Mühen und Kosten Bäche und Flüsse, oft Meilen weit, über Täler und durch Berge in Gerinnen nach großen Teichen, aus denen man das Wasser auf das Gestein herabstürzen ließ. Den Ablauf fing man unten in mit Ginster ausgelegten Gerinnen auf, wobei man das feine Gold zurückhielt. Durch Trocknen und Verbrennen der Sträucher gewann man das Rohgold, welches man durch Auswaschen von der Asche befreite. Plinius nennt die Produktion aus diesem Bruchbau so bedeutend, daß »Hispanien bereits seine Küste ins Meer hinaus geschoben habe«. Diese Nachricht ist nun zwar stark übertrieben und auch schon deswegen unwahrscheinlich, weil Spaniens Küste im Norden und Nordwesten felsig ist und keine Spur von Anschwemmungen der beschriebenen Art erkennen läßt. Immerhin haben die an Ort und Stelle vorgenommenen Untersuchungen eine enorme Ausdehnung des Bruchbaues ergeben. (Man vergleiche hierzu Breidenbach, Goldvorkommen im nördlichen Spanien, »Zeitschrift für praktische Geologie« 1893, 16). In einem kreisringförmigen Gebiete, dessen Zentrum Lugo ist und dessen Umfang von den Linien Castropol-Pravia-Astorga-Villafranca gebildet wird (Gesamtinhalt 700 000 ha), sind aus etwa 33 Tagebauen rund 15 Millionen Kubikmeter Gestein bearbeitet und weggeschwemmt worden. Dies sind aber sicher nicht alle Arbeiten der Alten; manche mögen ganze Hügel vertilgt und nur große Steinwüsten hinterlassen haben. Im ganzen mögen die Römer wohl 50 Millionen Kubikmeter, d. h. zirka 125 Millionen Tonnen Gebirge bewegt haben, wovon etwa 50 Millionen ins Gebiet des aus dem bis 1950 m ansteigenden Somedogebirge entspringenden Sil gehören. Beuther nimmt (vgl. »Preußische Zeitschrift« 1891, S. 55) als plinianisches Goldland ein von den Städten Coruña, Oporto, Salamanca und Gijon als Ecken begrenztes Gebiet von etwa 10 Millionen Hektar Areal an und Breidenbach setzt hierfür etwa die dreifache der genannten Exkavation an, wonach man die Gesamterdbewegung seitens der Alten auf etwa 500 Millionen Tonnen ansetzen kann.

Auf diese ohne Zweifel recht unwirtschaftliche Verwaschung von Gesteinsmassen mögen die Römer wohl durch Zufall gekommen sein, etwa dadurch, daß ein von selbst oder durch unvorsichtigen Betrieb zu Bruch gegangener Berg von ihnen, denen die Aufwältigung eines zusammengebrochenen Grubenbaues jedenfalls unbekannt war, gelegentlich einmal mit Wasser angegangen worden war, damit sie aus den Massen wenigstens einen Teil des Freigoldes gewinnen konnten.

folgender nasser Jahre sich die Wasserzuflüsse aus den den See umgebenden Abruzzenbergen mehrten, stieg der Wasserspiegel des Sees, der eines unmittelbaren Abflusses entbehrte, und von dem benachbarten Garigliano (Liris), der in den Busen von Gaëta mündet, durch den 300 m hohen, steilabfallenden Rücken des heutigen Monte Salviano getrennt war, oft um 10—12 m, so daß die im Uferbereiche gelegenen Orte wiederholt überschwemmt und die stark bebauten Landstriche verwüstet wurden. Um diesen Mißständen zu steuern, ordnete Claudius eine Tieferlegung des Sees an und ließ nach dem Liris einen 5700 m langen Abzugsstollen graben, dessen Höhe 3 m, dessen Breite 1,8 m und dessen Gefälle 1,5 ‰ betrug. Hierdurch wurde, wie Spuren von römischen Städten im Seegebiet dartun, die Seefläche von 15000 auf 7000 ha vermindert. Wie Sueton berichtet, waren 30000 Menschen elf Jahre lang beim Bau tätig. Zur Richtungsanweisung und Förderung waren 40 seigere Schächte von 80—122 m Tiefe und eine noch größere Zahl flacher Schächte von 16—20 ° Neigung vorhanden. Plinius beweist uns den Orts- und Gegenortsbetrieb übrigens unzweifelhaft; er teilt nämlich (h. n. XXXVI, 24) mit, daß man das Wasser mit Maschinen gehoben habe und daß alles im Finstern (bei Lampenlicht) verrichtet worden sei. — Cum corrivatio aquarum egeretur e vertice machinis ..., omniaque intus in tenebris fierent. Die seigeren Schächte haben 4,3 qm (als Quadrat gestalteten) Querschnitt und boten zum Einhängen der Lote den nötigen Raum[1]).

c) Abbauarten.

Die einzigen Abbaumethoden, über die das Altertum verfügte, waren Strossenbau und Weitungsbau; letzterer wurde entweder von unten nach oben oder von zwei Seiten aus oder in absteigender Richtung betrieben.

Der Strossenbau präsentiert sich ganz von selbst auf allen zutage ausgehenden Lagerstätten und ist auf allen Steinbrüchen des Altertums, ferner in großartigstem Umfange z. B. am steirischen Erz-

---

[1]) Im Laufe der nachrömischen Zeit verfiel das Bauwerk, zumeist infolge der mangelhaften Durchschläge, die dem Wasser eine große Angriffsfläche boten. Außerdem verbrach der Einlauf, und im Innern kamen Einstürze vor. Im Mittelalter (z. B. von Friedrich II.) unternommene Versuche, den Abfluß von neuem zu öffnen, hatten keinen Erfolg. 1816 wurde der Plan von der Regierung von Neapel erwogen; die disponibel gemachten 42000 Frcs. reichten natürlich bei weitem nicht aus und so unterblieb die Ausführung des Projektes, bis durch die Freigebigkeit des römischen Fürsten Torlonia in den Jahren 1862—1875 mit einem Aufwand von 43 Millionen Frcs. die Ausführung möglich wurde, welche dem See ca. 14000 ha wertvolles Land abrang.

berge, auf dem Ausgehenden der Elbaner und mittelitalienischen Eisen- und Kupfererzlagerstätten und auf den oberägyptischen Goldvorkommen betrieben worden. Wie kein andrer Abbau gestattete er die Anlegung von großen Arbeiterkolonnen und ermöglichte überdies eine sehr bequeme Förderung und Gewinnung der Massen.

Im unterirdischen Betriebe wandte man in den allermeisten Fällen den Weitungsbau in seinen verschiedenen Modifikationen an.

Am planmäßigsten sind dabei die laurischen Bergleute vorgegangen, indem sie je nach der räumlichen Ausdehnung der Lagerstätte nach Streichen und Einfallen die eine oder andre Abart des Weitungsbaues anwandten, die im folgenden dargestellt werden soll.

Nach Erreichung der zur Ausbeutung sich eignenden Lagerstätte fuhren die laurischen Bergleute längs des Kontaktes mit dem Nebengestein eine Strecke (ὑπόνομος, διῶρυξ, διαδυσις, ὄρυγμα — Xenophon, Über d. Staatseinkünfte, IV, 26, Diodor, III, 12, 5, 6, Strabon V, 2, 6, XIV, 5, 28, Pollux VII, 98 —) auf, von der aus sie nach oben und unten, sowie zur Seite in die taube Lagerstätte hinein Untersuchungsstrecken trieben. Fand sich durch diese Vorarbeit, daß man die Hauptmasse der Lagerstätte unter der Kontaktstrecke zu suchen habe, so betrieb man den Weitungsbau von oben nach unten; die ausgewonnenen Räume blieben natürlich leer und das Haufwerk mußte, um auf die Hauptstrecke zu gelangen, nach oben geschafft werden. Blieb dieser als Unterwerk im heutigen Wortsinne zu charakterisierende Weitungsbau wegen der geringen Tiefe der Lagerstätte nur flach, so geschah das Heraufschaffen der gewonnenen Massen durch Handreichung, vertiefte sich indessen der Abbau bedeutend unterhalb der Streckensohle, so vermittelte man den Transport des Haufwerks aus dem Tiefsten nicht selten durch ringsumlaufende Spiralbankette.

Ergab sich aber andererseits, daß das größte Stück der in Angriff zu nehmenden Lagerstätte oberhalb der Strecke anstehe, so war damit die Voraussetzung für einen aufwärts gerichteten und mit Verfüllung der hergestellten Hohlräume durch taube Massen arbeitenden Abbau gegeben.

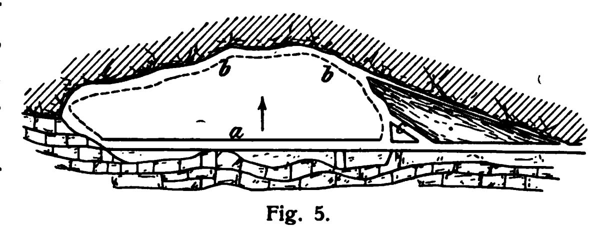


Fig. 5.

In dem Maße, als man sich von der Hauptstrecke entfernte, mußte man diese für die Abfuhr der gewonnenen Massen durch ansteigende Hilfsstrecken zugänglich machen. Fig. 5 zeigt solche Baue bei *c*; *a* ist die Hauptstrecke, *b* sind am Kontakt herumgeführte Untersuchungsbaue.

Seltener ist die Inangriffnahme einer größeren Lagerstätte in zwei Sohlen zu finden, wie sie bereits in Fig. 2 dargestellt war. Bei den in bezug auf den Inhalt ihrer laurischen Erzlagerstätten äußerst sparsamen Athenern kam eine solche Zweiteilung nur dann vor, wenn es sich um eine relativ arme Partie von großer Mächtigkeit handelte.

Die Ausdehnung der Weitungsbaue war im allgemeinen durch das Maß der bauwürdigen Partien und die Festigkeit des Gesteins gegeben; war die letztere groß genug, so verhieb man selbst Erzmassen von 900—1000 qm Grundfläche, ohne einen Sicherheitspfeiler stehen zu lassen.

Mußte man unbedingt Lagerstättenmasse zur Stützung des hangenden Gesteins in Gestalt von Sicherheitspfeilern, Bergfesten (δρμοι, μεσοχρινεῖς, ὁμοερχεῖς) stehen lassen, deren Bestand in Laurion gesetzlich geschützt war, so geschah dies nur in den ärmeren Partieen; dort aber, wo die Ausbeutung eben lohnte, stellte man Mauerpfeiler aus groben Steinen auf.

Auf Gängen folgen die Weitungen tonnlägig dem Einfallen der Lagerstätte, z. B. bei Courmayeur in Piemont (Journ. d. mines, an VII, p. 112), und stehen durch enge Strecken miteinander in Verbindung.

Die alten Japaner betrieben auch unter Tage eine Art von unversetztem Strossenbau, indem sie, dem Laufe der Lagerstätte entsprechend, ein Ort über dem andern mit leichter Neigung aufwärts trieben, bis die Ventilation zu schlecht wurde und man einen Schacht aufbrach.

Ein ganz besonderer Abbau wurde auf den im Nordwesten Spaniens gelegenen Goldvorkommen betrieben, nämlich eine Art von Bruchbau mit nachfolgender Abschwemmarbeit, wodurch das unhaltige Gestein fortgeführt, das haltige dagegen angereichert und gesammelt wurde. Dieser Bauart tut Plinius in seinem 33. Buche, c. 4, 21 mit Bewunderung Erwähnung und stellt sie dabei als der Gigantenarbeit ebenbürtig wie folgt dar: »Von Tage aus treibt man ein System von Stollen und Strecken kreuzweise während vieler Tage und Nächte tief in den Berg, indem man das Gestein mittels Feuersetzens oder Schlägel- und Eisenarbeit bezwingt. Trifft man hierbei auf Kieselstein, so umgeht man diesen mit der Strecke. Wenn man den Berg hinreichend weit durchquert zu haben glaubt, so geht man daran, die zwischen den einzelnen Strecken stehen gelassenen Bergfesten durchzuhauen, um das Zubruchgehen des Hangenden zu beschleunigen. Eine auf der Spitze des Berges stehende Wache beobachtet den Anfang des Niederbrechens und benachrichtigt die Häuer davon, die darauf eilends ihre Arbeit verlassen, während bald darauf der Berg zusammenstürzt. Der ganze Berg zerfällt in Trümmer, der Krach ist entsetzlich, der Luftdruck ganz fürchterlich. Die Leute schauen triumphierend der Vernichtung zu,

haben aber noch kein Gold, konnten auch während des Grabens gar nicht wissen, ob sie welches bekommen würden.« Nachdem man den Berg so zu Bruch gebaut, leitete man, um das in den Schuttmassen vorhandene Metall zu gewinnen, unter großen Mühen und Kosten Bäche und Flüsse, oft Meilen weit, über Täler und durch Berge in Gerinnen nach großen Teichen, aus denen man das Wasser auf das Gestein herabstürzen ließ. Den Ablauf fing man unten in mit Ginster ausgelegten Gerinnen auf, wobei man das feine Gold zurückhielt. Durch Trocknen und Verbrennen der Sträucher gewann man das Rohgold, welches man durch Auswaschen von der Asche befreite. Plinius nennt die Produktion aus diesem Bruchbau so bedeutend, daß »Hispanien bereits seine Küste ins Meer hinaus geschoben habe«. Diese Nachricht ist nun zwar stark übertrieben und auch schon deswegen unwahrscheinlich, weil Spaniens Küste im Norden und Nordwesten felsig ist und keine Spur von Anschwemmungen der beschriebenen Art erkennen läßt. Immerhin haben die an Ort und Stelle vorgenommenen Untersuchungen eine enorme Ausdehnung des Bruchbaues ergeben. (Man vergleiche hierzu Breidenbach, Goldvorkommen im nördlichen Spanien, »Zeitschrift für praktische Geologie« 1893, 16). In einem kreisringförmigen Gebiete, dessen Zentrum Lugo ist und dessen Umfang von den Linien Castropol-Pravia-Astorga-Villafranca gebildet wird (Gesamtinhalt 700 000 ha), sind aus etwa 33 Tagebauen rund 15 Millionen Kubikmeter Gestein bearbeitet und weggeschwemmt worden. Dies sind aber sicher nicht alle Arbeiten der Alten; manche mögen ganze Hügel vertilgt und nur große Steinwüsten hinterlassen haben. Im ganzen mögen die Römer wohl 50 Millionen Kubikmeter, d. h. zirka 125 Millionen Tonnen Gebirge bewegt haben, wovon etwa 50 Millionen ins Gebiet des aus dem bis 1950 m ansteigenden Somedogebirge entspringenden Sil gehören. Beuther nimmt (vgl. »Preußische Zeitschrift« 1891, S. 55) als plinianisches Goldland ein von den Städten Coruña, Oporto, Salamanca und Gijon als Ecken begrenztes Gebiet von etwa 10 Millionen Hektar Areal an und Breidenbach setzt hierfür etwa die dreifache der genannten Exkavation an, wonach man die Gesamterdbewegung seitens der Alten auf etwa 500 Millionen Tonnen ansetzen kann.

Auf diese ohne Zweifel recht unwirtschaftliche Verwaschung von Gesteinsmassen mögen die Römer wohl durch Zufall gekommen sein, etwa dadurch, daß ein von selbst oder durch unvorsichtigen Betrieb zu Bruch gegangener Berg von ihnen, denen die Aufwältigung eines zusammengebrochenen Grubenbaues jedenfalls unbekannt war, gelegentlich einmal mit Wasser angegangen worden war, damit sie aus den Massen wenigstens einen Teil des Freigoldes gewinnen konnten.

Jahrhundert zum Umtreiben der Mühlsteine, und es ist wohl anzunehmen, daß man sich ihrer auch gelegentlich zum Antrieb der Aufbereitungsmühlen bedient habe, ebenso wie man (siehe oben) sie bei der Zerteilung der Schieferplatten zum Antrieb der Sägen benutzte.

Endlich kannte man im Altertum eine Reihe von Pumpen. Wann und von wem die gewöhnliche Saugpumpe erfunden worden ist, kann nicht festgestellt werden; wahrscheinlich war sie aber bereits

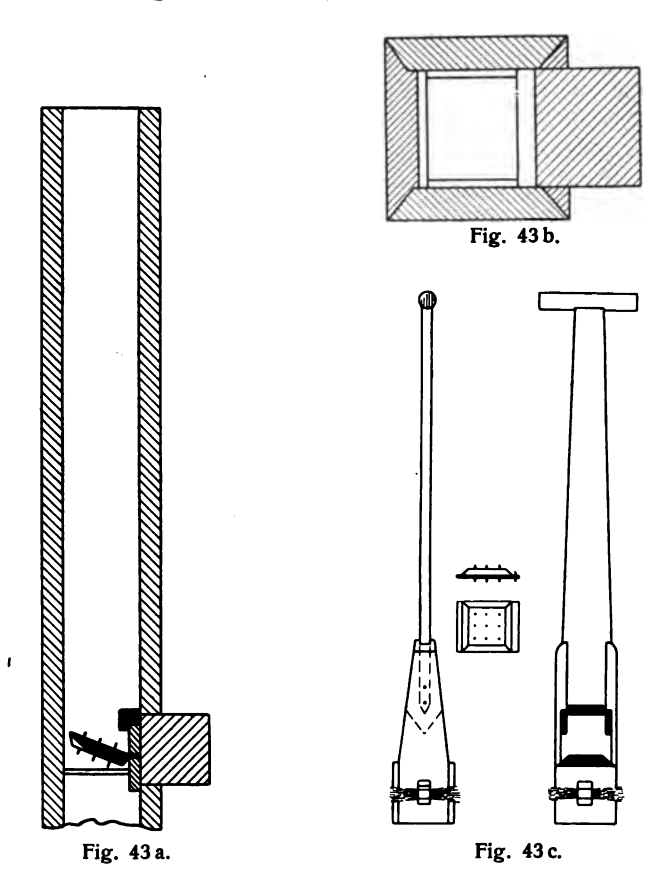


Fig. 43 b.

Fig. 43 a.

Fig. 43 c.

im alten Ägypten in Anwendung. Bei Aristophanes wird eine antlia erwähnt; es scheint, nach Martials Äußerungen zu urteilen (»Die antlia ist eine Maschine, um Wasser aufzuziehen«), eine einfache Saugpumpe gewesen zu sein. Daneben geschieht eines als »siphon« bezeichneten Apparates Erwähnung, der aber auch andere Vorkehrungen als Pumpen zum Heben und Ausgießen von Wasser bezeichnet. Daß »siphon« eine Saugpumpe bezeichnete, geht aus mehrfachen Äußerungen der Alten hervor. So lehrten die platonischen

Philosophen, daß die Seele an den Freuden des Himmels teilnehmen solle, »wie durch einen sipho«; Theophrast erklärt durch den sipho das Aufsteigen des Marks in den Knochen und Columella das des Saftes in den Bäumen. Plinius erwähnt siphones (hist. nat. XIX, c. 4), mit welchen man Gärten bewässerte, und an anderer Stelle (hist. nat. XVI, c. 42) nennt er das Holz der Fichte, Tanne und Erle besonders gut zum Bau von Pumpen und Wasserleitungsröhren, die man durch Ausbohren der möglichst geraden Stämme herstellte. Es ist anzunehmen, daß solche Apparate, weil sie sehr gewöhnlich waren, auch in den Gruben zur Wasserhebung Anwendung fanden.

Auch die alten Japaner haben sich derselben bedient; nach Netto (a. a. O., II, S. 372, 1879) besteht die noch bis heute in unveränderter Form erhaltene Vorrichtung, von der Fig. 43 eine Darstellung gibt[1]), aus einem prismatischen, oben und unten offenen hölzernen Kasten von zirka 3½ m Länge und etwa 12·12 qcm lichter Weite, in dessen unterem Teile ein sich nach innen öffnendes Klappenventil eingesetzt ist. In diesem allenthalben gedichteten Kasten wird ein entsprechend großer, mit Stroh und Leder gedichteter Kolben mittelst Kolbenstange unmittelbar von Hand bewegt. In flachen Schächten sind die von je ein Mann bedienten Pumpen untereinander eingebaut; die untere hebt in den Saugkasten der nächst oberen; die vertikale Hubhöhe beträgt etwa 1,2—1,9 m, der Kolbenweg etwa drei Fuß, die Menge des pro Hub gehobenen Wassers etwa 5 shio = 9 l.

Den Übergang von diesen Apparaten zu der dem Ctesibius zugeschriebenen, von Plinius (hist. nat. VII) und Vitruv (de arch. X, 7) erwähnten und mit einem Windkessel ausgerüsteten Pumpe bildet gewissermaßen die von Vegetius erwähnte Blasebalgpumpe, bei welcher behufs Vermeidung von Stößen in den Leitungen und zur Erzielung eines möglichst gleichmäßigen Wasserausflusses ein Ledersack mit einer abgeschlossenen Menge Luft in die Leitung eingeschaltet war. Auch sie paßte nur für geringe Höhen.

Für größere Höhen und Wassermengen war die angeblich um 150 v. Chr. von Ctesibius in Alexandria erfundene Druck- und Saugpumpe eingerichtet. Von ihr berichtet Vitruvius (l. X, c. 7) folgendes:

»Diese Maschine (Fig. 44) besteht aus Bronze und besitzt zwei gleichgebaute vertikale Pumpenzylinder, die nicht weit voneinander abstehen (*a*) und durch zwei sich mitten vereinigende Abzweigungen (*c*) in den Windkessel *d* einmünden. In dem Windkessel bringt man Ventilklappen (*e* — Druckventile —) an der oberen Mündung der

[1]) Fig. 43b im 1½fachen Maßstabe von Fig. 43a und 43c.

Oberen Sees abgesprochen, da man sich mit der — angeblichen — Unbekanntschaft des Kupferschmelzens die Anwendung des Feuers zur Gesteinsgewinnung nicht hatte erklären können. Es sind jedoch nicht nur gegossene Geräte aus Kupfer gefunden worden, so z. B. eine Axt von der Form, wie sie in den mounds vorkommt, zu Auburn, Cayuga Cty, New-York (Squier, Oboriginal Monuments of the State of New-York, Washington 1849, S. 78), sondern man hat auch in den Gruben selbst Spuren des Feuersetzens entdeckt. Schmidt (Archiv für Anthropologie XI, S. 65 ff.), Rivot (Berg- und Hüttenmänn. Zeitung 1856, S. 326), Dieffenbach (ebenda 1858, S. 27) haben Mitteilung gemacht von in den Bauen gefundenen Haufen von Holzkohlen und Asche, die man nur als Reste von Feuersetzen denken kann. Nach Sir John Lubbocks »Prehistoric Times« (S. 219 ff.) brannten die Indianer Opferfeuer in vertieften Herdgruben von 5—8 Fuß Durchmesser und 10—20 Zoll Tiefe, in denen man außer Asche und Knochen viele Gegenstände des Gewerbefleißes findet, daher die Indianer leicht das Schmelzen von Kupfer lernen konnten.

In Peru finden sich (Ann. d. mines 1882, VIII. S., T. II, p. 571) sehr alte Steinbrüche auf dem Isthmus von Copacabana, die mit Feuersetzen getrieben wurden.

Als letzte der von den Alten ausgeübten Gewinnungsarbeiten sei das unserem »hydraulic mining« vollkommen entsprechende Verfahren der Hereingewinnung von Gestein durch strömendes Wasser hier erwähnt, von dem Plinius bei Gelegenheit des auf den nordwestspanischen Goldlagerstätten umgehenden riesigen Bruchbaues redet. Lassen wir dem Autor selbst das Wort: . . . »Meilenweit leitet man die Wasser über die Berge, dabei muß man das Gefälle bis zur Mündung möglichst stark nehmen, also das Wasser von den höchsten Gegenden herholen. Täler werden überbrückt und das Wasser darüber fortgeleitet. Wo zu steile, unzugängliche Felsen sind, werden sie zur Aufnahme der zum Kanalgerinne nötigen Balken und Bohlen ausgehöhlt. Die diese Arbeiten verrichtenden Leute hängen an Seilen, so daß sie von ferne nicht einmal wie ein Wild, sondern wie ein Vogel aussehen. Sie schweben in der Luft hin und her und zeichnen dem Kanal den Weg vor; ihre Hände räumen den Schutt und das Gerölle in Körben fort . . . An den obersten Abhängen der Berge legt man Teiche als Wasserreservoirs an, 200 Quadratfuß groß bei 10 Fuß Tiefe. An ihnen läßt man fünf je drei Quadratfuß große Auslauföffnungen. Sobald ein Reservoir voll ist, zieht man die Schützen und der Strom stürzt mit solcher Gewalt fort, daß er Felsen fortbewegt . . . Hierauf beginnt die Anreicherungsarbeit in der Ebene« usw.

e) Grubenausbau.

Betrachten wir nunmehr den Ausbau der Grubenräume und die Mittel zu ihrer Offenhaltung während des Betriebes. Wohlbekannt war sowohl den vorhistorischen Bergleuten, wie den Japanern, Chinesen, Nordamerikanern und den Ägyptern, den Griechen, Etruskern und Römern die Tatsache, daß die Form der Grubenräume von Einfluß auf deren Standhaftigkeit sei, deswegen finden wir ausnahmslos die Baue in der Firste gewölbeartig gehalten, so daß die Last des Hangenden vorwiegend auf die Stöße übertragen wird. Gangbergbaue und kleinere Weitungen finden sich fast ohne Ausnahme ohne eine Spur von Ausbau; in den größeren Weiten blieben Stützpfeiler stehen (μεσοχρίνεῖς, δρμοι, ὁμοερχεις, χίονες, fornices crebri montibus sustinendis), deren Aufrechterhaltung im laurischen Bergbaubezirke, wie bereits gesagt, durch Gesetz geboten war. Von einem Vergehen gegen dies Gesetz, von einem gewissen Diphilos begangen, kennen wir auch die Ahndung (aus Plutarchs Lycurg). Der Schuldige mußte den Giftbecher leeren und verlor seine ganze Habe im Betrage von 160 Talenten (fast ³/₄ Millionen Mark), die unter die Bürger verteilt wurden.

Die künstlichen Mittel zur Stützung des Hangenden bestehen in den Indianerbergbauen am Oberen See aus großen, oft weit hergeholten Steinen, aus denen regelrechte Pfeiler zusammengesetzt sind, je nach der im übrigen sehr wechselnden Höhe der Baue, sonst entweder aus Bergemauerungen, bei denen, wie in den etruskischen Betrieben, hinter einer Packung von groben Gesteinsstücken kleiner Schutt gefüllt wurde, oder aber aus Holzstempeln, bzw. Verbindungen von mehreren Hölzern. Holz ist als Material zum Grubenausbau während des ganzen Altertums immerhin recht selten; wohl deshalb, weil man es in der Hauptsache als Brennmaterial für die Feuersetzarbeit und die Schmelzhütten benützen mußte. Plinius erwähnt Holz als Ausbaumaterial bei seiner umständlichen Schilderung des spanischen Goldbergbaues: Tellus ligneis columnis suspenditur (Hist. nat. XXXIII, 4. 21 ff.). Einen Rest alter römischer Streckenzimmerung fand man in der Katalin-Monulestigrube im Letier Revier zu Verespatak (vgl. Pošepný, Röm. Schöpfrad in »Österr. Zeitschr.« 1877, S. 391, dgl. 1868, S. 153, 165). Die einzelnen Türstöcke standen unmittelbar aneinander; die Verbindung zwischen Stempel und Kappe geschah mittels langer am Stempel angeschnittener Zapfen, welche in Durchbrechungen der Kappe paßten. Ähnlichen Ausbau fand man in sardinischen Römergruben. Etwas hiervon abweichend sind die in den toskanischen Gruben von Selvena bei Sta. Fiora am Monte Amiata gefundenen römischen Türstöcke konstruiert

gewesen, von denen nebenstehende Fig. 33 (nach eigner Aufnahme des Verfassers) ein Bild gibt. Die Stempel sind unten zugespitzt und etwa 10 cm unter der oberen Endfläche von einem 3·5 qcm großen Loch durchbrochen, in welches die Zapfen der Rundholzkappe passen. Die Verbindung schützt mehr gegen seitlichen als gegen Firstendruck. An eben derselben Stelle fand sich auch eine größere Anzahl von Nadelholzzapfen, von denen zu vermuten ist, daß sie aus zur Verschalung hinter der Zimmerung benutzten Zweigen herstammen. Letztere sind vermodert, und nur die daranhängenden Früchte haben sich erhalten und erinnern an die »Nüsse« der Wetterauer Braunkohle, die sich ebenfalls ganz gut erhalten konnten, während die Struktur der dazu gehörenden Hölzer vollständig verloren ging.

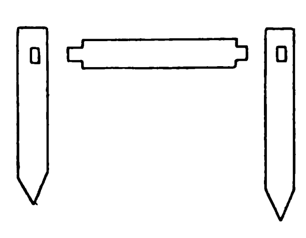


Fig. 33.

Schachtausbau findet sich nur sehr selten; wenn solcher vorhanden ist, so ist es trockene Mauerung aus groben Steinen, einige Meter von dem Mundloche an sich abwärts erstreckend. Sie diente dann zur Festhaltung der losen Schuttmassen, welche aus dem Abteufen des Schachtes gefallen waren, und welche man als Schachthalde aufgestürzt hatte. In einem von den Römern herrührenden Gesenk in der Bleierzlagerstätte des Tanzberges bei Keldenich, unweit Mechernich, fand sich ein Ausbau im ganzen Schrot, dessen einzelne Jöcher gleichfalls durch Verzapfung ineinandergefügt waren. Ähnlicher Brunnenausbau fand sich auf der Saalburg bei Homburg v. d. H.

f) Förderung.

Ebenso primitiv wie der Grubenausbau war auch die Förderung. Da in den weitaus allermeisten Fällen die Ausdehnung der metallführenden Lagerstätte das Maß für die Weite der Strecken und Baue war, so ist es erklärlich, daß die letzteren unregelmäßig sind; wer in einen solchen einfährt, kann nur gebückt oder kriechend, ja nicht selten nur auf allen Vieren voranfahren. Als Fördergefäße dienten Säcke, geflochtene oder aus Brettern zusammengesetzte Tröge, kleine Kesselchen aus Blech. Innerhalb der Strecken förderte man wohl meist durch Handreichung bis an die Mündung des Schachtes oder bis in eine größere Kammer, wo man eine Ausschlägelung vornahm. Danach füllte man das Gut in größere Gefäße, die dann entweder von Hand zu Hand durch die auf Spreizen sitzenden Sklaven herausgereicht wurden oder — in flachen Schächten — auf dem Rücken herausgetragen

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel lederne Säcke, für die man die Bezeichnungen σάχχος, σάχχιον, σάχτηρ, oftmals auch θύλαχος findet. Die Arbeiter nannte man θυλαχοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐχφορεῖν, φορεῖν, θυλαχοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλαχοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάχοις περιφέροντες τὰ χώματα χαὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐχαλουντο χαὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34a u. 34b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken

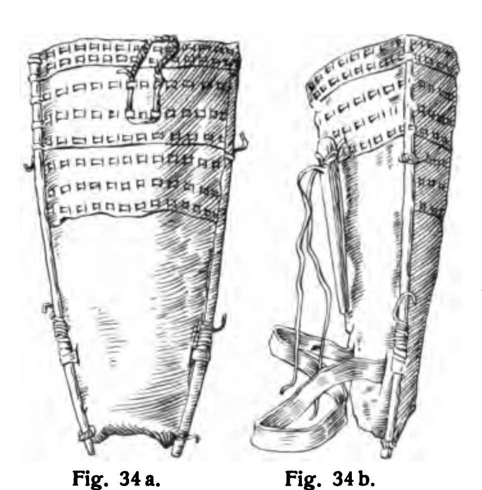


Fig. 34 a. Fig. 34 b.

anliegende mit drei, das breitere der Außenseite mit sechs eingeflochtenen Riemen. Am Rande des Sackes ist das Leder 5 cm breit umgelegt und durch zwei eingeflochtene Riemen befestigt. An die Längsnähte des Sackes sind mittels Riemen zwei etwas gebogene, an mehreren Stellen zwecks Befestigung durchlochte Rippen aus Eschenholz befestigt, welche oben und unten etwas herausragen. Zum Tragen des Korbes dient ein 6 cm breites, 1,20 m langes Lederband, welches unten in 10 cm Höhe durch das Leder gezogen und dann beiderseits dreimal um die Rippen gewunden ist. Da dieser um die Brust und eine Schulter gelegte Riemen zum sicheren Tragen nicht ausreichte, so ist am oberen Sackrande eine 0,4 m lange Tannenholzhandhabe angebracht. An dieser konnte der Sack im Gleichgewichte gehalten werden, während einfaches Loslassen der Handhabe ein Umkippen und Rückwärtsentleeren alsbald zur Folge hatte.

Konnte man diese Säcke am besten in flachen Schächten zum Tragen anwenden, so mußte man, um größere Massen auf ziemlich ebener Sohle fortzuschaffen, Schlepptröge anwenden, die entweder geflochten oder aus Brettern zusammengesetzt sind.

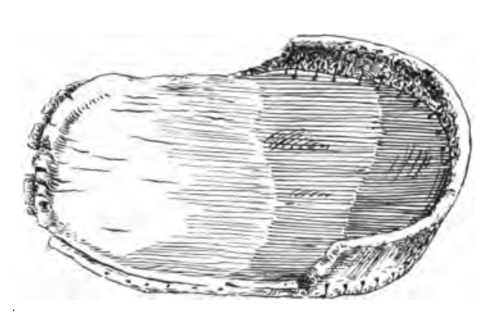


Fig. 35.

Ein zu El Aramo in Asturien gefundener Trog ist in Fig. 35 dargestellt (nach Treptows zit. Arb.). Er besteht aus einem ovalen Boden, an dem mittelst hölzerner Nägel ein niedriger Rand befestigt ist. Auch Reste eines Ledergriffes zum Schleppen finden sich daran.

Hinsichtlich des Massentransportes im Schachte kann man im Altertum zwei verschiedene Methoden unterscheiden. In vielen Fällen sind die Massen durch auf Spreizen sitzende Sklaven herausgereicht worden, in anderen muß man sich auch des Seiles in oder ohne Verbindung mit Haspeln bedient haben. Die Schächte der ersteren Art charakterisieren sich durch einander gegenüberstehende Gesteinslöcher, die den Sitzspreizen als Lager dienten und meistens in Entfernungen von nur 1,0—1,2 m übereinander ausgehauen sind. Bei Seilschächten fehlen indes diese Spuren; meist sind die Stöße ohne jedes Anzeichen eines Einbaus: in seltenen Fällen kann man die Einfuhren für die Wellen von Seilleitrollen bemerken, fast stets aber zeigt der obere Rand des Schachtes mehr oder weniger tiefe, vom Seil im Laufe der Zeit eingeschnittene Furchen. Man hat in solchen Fällen wohl Pferde oder

andere Tiere zum Seilziehen angewendet. In solchen Fällen hat man anscheinend manchmal Strecken- und Schachttransport miteinander in einer allerdings sehr primitiven Art vereinigt, indem man das zu fördernde Gut unmittelbar am Ort der Einfüllung in das Fördergefäß — Sack oder Trog — ans Seil schlug und dann zutage zog. Heute findet man diese Art der Förderung noch bei dem Herausbringen großer Basaltblöcke aus den unterirdischen Brüchen bei Mayen und Niedermendig, in einer Industrie, die überhaupt manche archaistische Formen bewahrt hat.

Die Ägypter wandten Seile aus Baumwolle, die Phönizier solche aus Flachs beim Bau der Brücke des Xerxes über den Hellespont in Verbindung mit Drehwinden an (Herodot VII, 36); aus dem Buche Hiob kennen wir Andeutungen über die Anwendung des Seiles (Kap. 28, Vers 4): »Gänge bricht man fern von den Angehörigen, von dem Fuß vergessen, hängen sie, fern von Menschen wanken sie.«

Nach Diodor (II, 2, 15) wurden zu Persepolis besondere Maschinen — Haspel — benutzt, um die Särge der Könige in die hoch im Felsen gehauenen Gräber zu schaffen.

Aus dem Bauwesen kennt Vitruv u. a. auch den Kreuzhaspel, sucula, den man mit Hilfe von vier Hebeln, rectis, bewegte, und es ist wohl anzunehmen, daß man diese Maschine, die genannter Autor (Arch. X, 8) in Verbindung mit Seil und fester Rolle geradezu als Fördermaschine bezeichnet, auch im Bergbau angewendet habe.

Schon die vorgeschichtlichen Bergleute in El Aramo und auf dem Mitterberge müssen den Haspel gekannt haben; denn am ersteren Orte zeigten mehrere gänzlich leere Schächte an den Stößen Seilspuren, und am Mitterberge fand sich (s. Much, Das vorgesch. Bergwerk, S. 13) ein Exemplar eines solchen in der halben Höhe eines Schachtes. Er lief mit seinen Achszapfen in zwei in den Felsen eingeklemmten Lagern aus Holz und zeigte noch deutlich die Treibspeichen.

In mehreren vorrömischen Schächten bei Agrigent fanden sich gleichfalls Spuren des Heraufziehens von Steinen an den Stößen (Holm, Gesch. Siziliens, I, S. 140), und in den alten Bleigruben Toskanas waren in den kaum $^1/_2$ m im Quadrat messenden Schächten (nach Haupt in Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1856, S. 88) etwa alle 10 m im Gestein die Löcher zu sehen, welche die Achsen der dem Seil als Führung dienenden Rollen getragen hatten.

Einen Kreuzhaspel fand Verfasser bei Selvena am Monte Amiata in — mutmaßlich — etruskischen Bauen. Die Treibspeichen waren tangential in trapezförmigen Einschnitten durch Keile befestigt.

Über Tage transportierte man Lasten nach der einen oder anderen der im folgenden angegebenen Methoden.

Zum Fortschaffen großer Steinblöcke bediente man sich hölzerner Walzen, die von Pollux als λιθουλιχοί, von Plinius (Hist. nat. XXXV, 15) als extempores, von Paullus Silentiarius als δουρατέος κύλινδρος bezeichnet werden.

Auf den Gebirgshängen wurden die Lasten nach Strabo (XI, 43) in der Weise zu Tal geschafft, daß sich Schlepper und Last auf ledernen Schleppen (Felle, Säcke) heruntergleiten ließen, in derselben Weise, wie es bis vor kurzem nach am Erzberge in Steiermark der Fall war — Sackzüge —. Strabo kennt diese Art zu transportieren aus dem Kaukasus, aus Media Atropatene und vom Berge Masius.

Des Transportes auf Tieren soll hier nur beiläufig gedacht werden. Ferner sei anhangsweise erwähnt, daß man gelegentlich zum Fortschaffen schwerer Gegenstände auf ungünstigem Grunde künstliche Gleise anlegte. So berichtet E. v. Lasaulx (Untergang des Hellenisums, Münster, 1854, S. 47, nach anderen Quellen), daß Konstantin der Große, als er den aus Theben stammenden Obelisken von 100 Fuß Höhe von Rom von Konstantinopel bringen ließ, den Monolith am Sophientore auf einem mit Eisenschienen belegten Wege über das weiche Terrain habe transportieren lassen.

Daß man im alten Ägypten vor dem Aufbau der Pyramiden Pflasterstraßen anlegte, um die großen Bausteine besser fortbringen zu können, sei hier nur angedeutet.

g) Fahrung.

In den mäßig einfallenden Strecken dienten zur Fahrung, sobald die glatte Sohle nicht mehr den erforderlichen Halt bieten konnte, Treppenstufen, die im Sohlengestein ausgehauen waren; in den steilen Bauen fuhr man entweder auf Steigbäumen oder auf Leitern.

Die alten Japaner benutzten mit Kerben versehene Rundholzsteigbäume, deren Gestalt Fig. 36 (nach Netto [1]) zeigt.

In Minnesota fand sich in einer vorcolumbischen Indianergrube ein Baum, dessen Äste kurz abgehauen waren, als Steigbaum (Schmidt im Arch. f. Anthrop. XI, S. 65).

Auch in der Katalin-Monulestigrube bei Verespatak hat sich ein Steigbaum gefunden (Pošepný a. o. a. O.).

[1]) Über japanisches Berg- und Hüttenwesen. Mitteil. d. dtsch. Ges. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens. II. 1879, S. 367. Mit 2 Tafeln.

Die antiken Fahrten unterscheiden sich in nichts von den heute üblichen Formen; auf der in Fig. 37 dargestellten Reproduktion einer jener bei Korinth gefundenen Tontafeln, die sich heute zum größten Teile in Berlin, zum geringeren in Paris und London befinden, und von denen eine Auslese in dem vom Kgl. Archäol. Institute herausgegebenen Prachtwerke »Antike Denkmäler« enthalten ist, ist auf der linken Seite eine Leiter angedeutet.

Nicht selten, namentlich in römischen Gruben, hat man größere Abschnitte von Schächten voll-

Fig. 36.

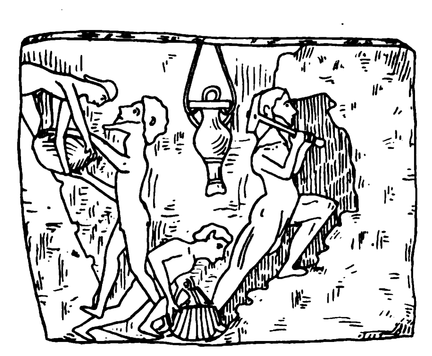


Fig. 37.

kommen ohne jede Spur von Ein- oder Ausbau gefunden. Dies geschah nur zu dem Zwecke, ein Entweichen der in den Bauen angelegten Sklaven zu verhindern. Bei einem feindlichen Überfalle entflohen dann vielleicht die Aufseher, unbekümmert um das Los der Sklaven.

h) Beleuchtung.

Zur Beleuchtung bediente man sich hölzerner Späne, bei Chinesen und Japanern solcher aus geklopftem Bambus, kleiner Reisigbündelchen, mit Tierfett getränkt oder mit fettgetränkten Fellstreifen umwunden, endlich auch tönerner oder metallener Öllampen. In den verschiedenen antiken Grubenbezirken sind viele der letzteren gefunden worden; sie sind bis auf eine oder zwei Öffnungen (zum Füllen und zum Dochtauslaß) ringsum geschlossen, im allgemeinen etwa 10 cm lang und etwa 7 cm im Lichten weit. In China und Japan benutzte man auch Schneckengehäuse, die mit Öl oder Fett gefüllt waren. Römische Grubenlampen zeigen die Figuren 38 und 39. Sie wurden entweder in Nischen des Stoßes aufgestellt oder aber vor der Stirn getragen (Diodor III, 12, 6). Letztere Art der Beleuchtung hat Veranlassung zu der Sage von den einäugigen Menschen (Arimaspuer bei

Herodot, Polyphem bei Homer usw.) gegeben. Größere Kammern hat man auch, nach dem eben erwähnten korinthischen Weihetäfelchen (siehe Fig. 37) zu schließen, durch von der Decke herabhängende Lampen beleuchtet. Als Leuchtmaterial diente wohl zumeist aus Pflanzen ausgepreßtes Öl. Ausdrücklich bezeugt dies Strabo (XVII, 321) von den Ägyptern; diese säten nach seinem Zeugnisse eine mit dem Namen Kiki belegte Frucht, deren Öl sich fast alle Landeseinwohner

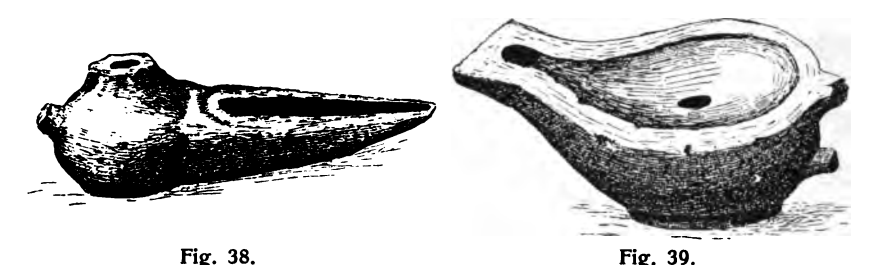


Fig. 38. Fig. 39.

zum Brennen in den Lampen bedienten, das aber von den ärmeren Leuten auch zum Salben benutzt wurde.

Daß man gelegentlich auch Petroleum als Leuchtstoff benutzt habe, dürfen wir bei der allgemeinen Bekanntschaft des Altertums mit diesem Stoffe und seinen Verwandten ruhig annehmen; berichten doch z. B. Dioscorides (I, 99) und Plinius (XXXV, 51) von der Benutzung des als πίττασφαλτος, bitumen pissasphaltum, benannten Materials ausführlich. Übrigens scheint man nach den von Plinius über den bereits mehrfach zitierten spanischen Bruchbau beigebrachten Notizen in manchen Fällen die Arbeit im Finstern verrichtet zu haben (multisque mensibus non cernitur dies), wenigstens aber bei der von Hand zu Hand bewerkstelligten Haufwerksförderung.

i) Wetterversorgung.

Im allgemeinen waren die Vorkehrungen der Alten zur Wetterbeschaffung und Wetterverteilung in den Gruben ziemlich primitiv. Maschinelle Einrichtungen waren ihnen durchaus unbekannt, so daß man nur auf die natürliche Bewegung der Luft auf Grund von Temperatur- oder Höhenunterschieden angewiesen war.

Berücksichtigt man, daß sehr viele antike Gruben mehrere Dutzend Meter tief hinabgingen — die laurischen Gruben sind vielfach mehr als 50 m tief, im oberen Elsaß sind die Römerbaue bis auf 200 Toisen (flach gemessen), in Spanien nach Diodorus und Strabo bis auf viele Stadien flache Länge vorgedrungen; Gobet (I, p. 187) kennt aus Asturien und den Pyrenäen Römerbaue, die bis 1400 Fuß flachgemessene

Tiefe hatten; zu Wiesloch beläuft sich die Gesamtlänge aller unterirdischen Strecken auf mehrere Kilometer —, so begreift man, daß die Luft in der Grube recht wenig bewegt werden konnte, wenn man nicht durch eine große Anzahl von Schächten einen kurzen und einfachen Wetterweg schuf. Im laurischen Grubenbezirke scheint geradezu stets ein Zentralschacht einer Anzahl von um ihn liegenden Förderschächten als Wetterschacht gedient zu haben (K o r d e l l a s, Le Laurium S. 84, 85). Einzelne Förderschächte besaßen außerdem noch schmale N e b e n s c h ä c h t e von 60—80 cm Weite als Luftschächte, ψυχαγώγια (vgl. Strabo III, 147); von den Römern werden diese als aestuaria bezeichnet.

Die Fahrbarkeit eines Schachtes prüfte man nach P l i n i u s (hist. nat. XXXI, 28) durch Hinablassen einer brennenden Lampe: Experimentum periculi est demissa ardens lucerna, si extinguatur. V o r O r t suchte man den Wetterzug durch Schwingen von Leinentüchern zu verbessern (Plinius, l. c.: Fit . . . altitudine ipsa gravior aes, quem emendant assiduo linteorum jactatu eventilando: Die Luft wird mit der Tiefe schwerer; man verbessert sie durch dauerndes Schlagen mit Tüchern). Namentlich in den vom Feuersetzen erhitzen Bauen, in denen sehr viel »vapor et fumus« vorhanden war, wird man dieses Hilfsmittels nicht haben entraten können, um die ohnehin schon wenig beneidenswert gestaltete Arbeit nicht noch mehr zu erschweren. Daß man g e l e g e n t l i c h durch die primitiven Ventilationsmittel nicht viel erzielte, geht am schärfsten aus der von S t r a b o gegebenen Schilderung der kleinasiatischen Arsenikgruben von Sandaracurgium bei Pompejopolis (bei den heutigen Flüssen Kyzyl Irmak und Jeschil Irmak) hervor. (Strabo XII, 40, 841.) Hier war nicht nur die Arbeit sehr mühselig, sondern die Arbeiter »starben auch wie die Fliegen dahin, vor den aus dem Gebirge aufsteigenden Dünsten«.

Es waren dort mehr als 200 Arbeiter angelegt, die aber binnen kurzem immer wieder durch neue ersetzt werden mußten.

Allerdings mag diese Grube auch wohl einzig hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Verhältnisse dagestanden haben; denn man wußte den Vorzug eines guten Wetterwechsels sehr wohl zu würdigen und erkaufte ihn unter Umständen selbst mit der Herstellung eines zweiten Schachtes, wie V i t r u v (VIII, c. 7) angibt. Es heißt hier: »Beim Brunnengraben strömen die giftigen Dünste hervor und belästigen die Arbeiter, die, wenn sie nicht schnell flüchten, ihnen erliegen. Man läßt zum Erkennen der schlechten Wetter eine brennende Lampe in den Schacht, der, wenn die Lampe b r e n n e n d b l e i b t, ohne Gefahr befahren werden kann. V e r l ö s c h t a b e r d a s L i c h t, so gräbt man einen zweiten Schacht, mit dem man den Dunst verjagt.« Nach dieser Schilderung

scheint man sich allerdings erst dann zur Herstellung eines besonderen Ausziehschachtes entschlossen zu haben, wenn dem Vordringen in die Tiefe durch die »spiritus immanes« — matten Wetter — ein unbedingtes Ziel gesetzt wurde.

Nach Ardaillon (Les mines du Laurion, S. 50) hat man in den laurischen Schächten Wetterscheider angebracht, die aus Brettern mit einer Dichtung aus Lehm bestanden. Der Scheider ging nicht bis auf die Schachtsohle, sondern blieb 1—1,5 m von derselben entfernt. War der Schacht abgeteuft, so wurde der Wetterscheider entfernt. Das Vorhandensein solcher Verschläge zur Teilung des Wetterstromes und zur Erzielung eines Wetterumlaufes wird aus der Existenz von zwei schmalen und seichten Rinnen ersichtlich, die in manchen Schächten vertikal von oben nach unten laufen und den (horizontal eingelegten) Scheiderhölzern als Halt dienten.

Ob man in den Abbauräumen zur Verbesserung der Atmosphäre Räuchermittel anwandte, erscheint nicht ganz ungewiß; so legte Professor Curtius 1877 in einer Sitzung der Archäologischen Gesellschaft zu Berlin ein in den laurischen Gruben gefundenes schmuckloses Tongefäß in Gestalt eines Doppelbechers mit regelmäßig durchbrochenen Wänden vor, welches seiner Meinung gemäß zum Räuchern gedient hat.

Immerhin mag ein solches Mittel nur subsidiär angewendet worden sein; im allgemeinen schaffte man einen möglichst weitgehenden Wetterumlauf durch die heute als Parallelbetrieb bezeichnete Einrichtung, indem man, sobald nur irgend tunlich, mit jeder Strecke ein paralleles Begleitort trieb und beide möglichst oft durch Durchhiebe miteinander in Verbindung brachte. Aus dieser Praxis erklärt sich auch die außerordentliche Kompliziertheit antiker Grubengebäude, bei denen sich oft an unzähligen Stellen Streckenverzweigungen und -vereinigungen vorfinden. Hatte man bei weiterem Aushieb Gelegenheit, den Wetterweg abzukürzen, so versetzte man die sonst unnötigerweise den Wetterstrom zersplitternden Strecken mit Gesteinschutt, wie sich bei vielen laurischen Gruben gezeigt hat.

k) Wasserhaltung.

Einer der wichtigsten Betriebszweige des antiken Bergbaues, der oftmals eine bedeutende Anzahl von Arbeitern vom eigentlich produktiven Betriebe abzog, war die Wasserhaltung. In den meisten Fällen waren die Vorkehrungen zur Freihaltung flacher Gruben von Wasser wenig kunstvoll; so trug man vielfach das Wasser in Lederschläuchen oder Eimern aus der Grube. Bodenstücke solcher

Transportgefäße für Wasser hat man z. B. in den vorgeschichtlichen Bauen am Mitterberg in Salzburg in größerer Anzahl gefunden. Weil diese Art der Förderung aber bei geringer Höhe schon äußerst mühevoll und verlustreich wurde, benutzten die Ägypter bereits sehr frühe die als Schaduff, Kaduff, auch Picota bekannte, auch heute noch in Afrika angewandte, aus der Kombination von Hebel, Seil und Korb bestehende Maschine, von der die Fig. 40 eine Darstellung gibt. An dem auf hohem gabel- oder turmartigen Gestelle gelagerten Schwingbaume hängt an dem einen Ende eine Hängestange oder ein Seil mit Wasserkübel, am anderen Ende ist ein Gegengewicht angebracht. Dadurch, daß Männer auf dem Schwingbaume hin und her und über den Stützpunkt schritten, brachten sie die zum Wasserheben erforderliche schwingende Bewegung hervor.

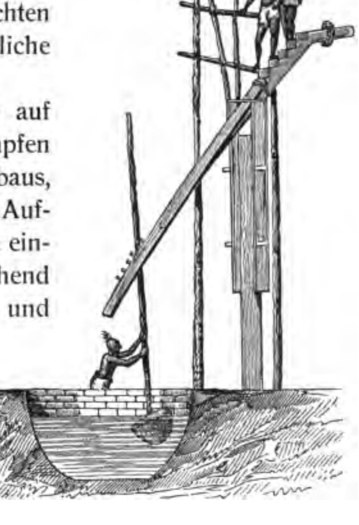


Fig. 40.

Zum Ausheben von Standwassern auf eine geringe Höhe, etwa zum Sümpfen einer Grube in der Sohle eines Tagebaus, vielleicht auch zum Beaufschlagen von Aufbereitungsapparaten, hat das Altertum die einfache Wasserwippe gekannt, bestehend aus einem langen Hebel mit Kasten und Bodenventil am Ende. Eine solche Vorrichtung ist (nach Eng. a. Min. Journ. XXII, p. 607) in einer Zinnseife in Cornwall gefunden worden, die nach den Fundumständen sicher in das Altertum versetzt werden muß.

Daß die Ägypter, Assyrer und auch die Römer, die sich bei Ausführung ihrer Riesenbauten, außer der einfachen Vorrichtungen des Hebels, Keiles, der Walze, schiefen Ebene und des Seiles, doch auch bereits des aus Walze, Kurbel und Seil kombinierten Haspels bedienten, dieses Gerät auch zum Wasserheben aus Bergbauen benutzten, bezeugt uns Plinius (Hist. nat. XIX, 4); Vitruvius läßt es uns nur ahnen; er teilt nämlich mit, daß (ums Jahr 400 v. Chr.) Archytas von Tarent »hydraulische Maschinen« erfunden habe, doch sagt er nicht, welche; es ist zu vermuten, daß es ein Haspel gewesen sei, um in Eimern oder Schläuchen Wasser zu heben. Erwähnt wird diese Art von Maschinen mehrmals (L. I c. 1 u. l. 9 c. 3). In den alten Gruben

von Carthagena hat man mit Pech gedichtete Espartograskörbe zum Wasserheben am Seile gefunden (Rev. archéolog. 1868, S. 268).

Neben diesen einfachen Maschinen, von denen nur die zuletzt erwähnte imstande war, das Wasser auf bedeutendere Höhen zu wältigen, kamen im Altertum auch kompliziertere Wasserhebeapparate zur Anwendung, nämlich die Schneckenpumpe (cochlea), die Becherwerke oder Kannenkünste, die Wasserräder und die verschiedenen Arten von Saug- und Druckpumpen, unter denen namentlich die des nach Plinius (hist. nat. VII, 38) durch die Erfindung von Luft- und Wasserdruckapparaten berühmten Ctesibius, der, ein Sohn eines Barbiers, zur Zeit des Ptolemäus Philadelphus lebte, unsere Aufmerksamkeit erregt.

Die Erfindung der Schneckenpumpe schreibt Diodor (I, 24; V, 37) dem Syrakusaner Archimedes zu; andere behaupten, ein Freund des Archimedes, Conon aus Samos, der lange zu Alexandrien lebte, habe sie erfunden. Wahrscheinlicher ist, daß Archimedes den Apparat bereits in Ägypten vorgefunden und in Griechenland allgemein bekannt gemacht hat. Vitruvius schildert ihre Herstellung folgendermaßen (vgl. l. X, 6): »Man nimmt einen Balken von so viel Zoll Dicke, als er Fuß Länge hat und schneidet ihn genau zylindrisch. Auf den Endkreisen bringt man nun Teilungen in vier bzw. acht Teile an, welche in ihren Teilungslinien genau korrespondieren; dann werden senkrecht zu den Grundflächen Linien von einem Stirnkreise zum anderen gezogen und auf ihnen Achtel jener Kreislinie aufgetragen. So entstehen auf dem Zylindermantel in der Quere und Höhe gleichgroße Räume. Auf den Längslinien sind nun in der Spirallinie umlaufend weitere Punkte bestimmt. Dann nimmt man eine dünne Rute aus Weide oder (wildem) Wein, taucht sie in flüssiges Pech und befestigt sie am ersten Punkte der rundumlaufenden Teillinie. Darauf legt man dieselbe schräg auf und führt sie über die einzelnen Schnittpunkte der Längs- und Querlinien, so daß das Ende wieder auf der gleichen Mantellinie wie der Anfang liegt. Genau ebenso werden über die anderen Teilungen hinweg ähnliche Ruten in der Spirallinie herumgelegt, so daß gleichsam Kanäle in genauer Nachbildung einer Schneckenschale entstehen. Über den vorhandenen Ruten werden dann noch andere festgemacht, die auch in flüssiges Pech getaucht sind, so lange, bis die gesamte Dicke dem achten Teile der Länge gleichkommt. Darüber werden nun Bretter befestigt, welche die Gewindegänge überdecken; diese werden ebenfalls mit Pech bestrichen und mit eisernen Bändern umgeben, damit nicht die Gewalt des Wassers sie losreiße. An den Stirnenden des Balkens werden eiserne Zapfen angebracht, rechts und links von der Schneckenwelle stellt man (Lager-)Balken auf, die oberhalb jederseits durch Querbalken

miteinander verbunden sind. In diesen befinden sich mit Eisen ausgelegte Öffnungen, um obige Zapfen aufzunehmen. Die Neigung der Achse der Schneckenwelle wird nun so bemessen, daß (von der durch den oberen und unteren Zapfen gelegten Lotrechten bzw. Horizontalen) ein pythagoreisches rechtwinkliges Dreieck gebildet wird. Wenn man nämlich die Balkenlänge in fünf Teile zerlegt, so erhebt man das eine Ende des Wellenstumpfes und drei Teile dieses Maßes. . . . . In Bewegung gesetzt wird die Schnecke dann durch Treten seitens einer Anzahl von Arbeitern.« Wegen der nur geringen Hubhöhe dieser Maschinen mußte man deren mehrere übereinander anordnen, wodurch man eine große Anzahl von Arbeitern nötig hatte, da man in der Grube nicht, wie vielfach über Tage, von Zugtieren betätigte Göpelwerke zum Umtreiben benutzen konnte.

Ebenfalls nur für geringe Hubhöhen verwendbar war die bei den Chinesen gebrauchte Kettenschaufelpumpe, welche an den Gelenken einer endlosen Kette Schaufeln besaß, die sich in einer schwach geneigten, ins Wasser eintauchenden Rinne nach oben bewegten und das Wasser in ein Sammelbecken hoben.

Weiter beschreibt Vitruvius ein Kettenbecherwerk (eine »Kannenkunst«) für viel größere Hubhöhen (l. X, c. 9) wie folgt: Soll das Wasser an bedeutend höhere Punkte geliefert werden, so schlingt man um die Welle eines Tretrades ein eisernes Kettenpaar (duplex ferrea catena), welches so eingerichtet ist, daß es bis unter den Wasserspiegel hinabreicht und angehängte Bronzeeimer trägt (habens situlos pendentes aereos congiales), die etwa einen congius — 1 congius = 6 sextarii = $^1/_8$ amphora, etwa 3,28 l — fassen. Dann wird die Drehung des Rades dadurch, daß die Doppelkette sich um die Welle herumlegt, die Eimer nach oben bringen, wobei sie, umgestürzt, ihren Wasserinhalt in einen Sammelkasten entleeren.

Außerdem bediente man sich seit uralter Zeit der Wasserräder zum Heben von Grubenwasser. In Mesopotamien und Ägypten dienten sie im Anfang zur Bewässerung der Ländereien, wurden dann aber auch beim Bergwesen benutzt[1]. Bemerkenswert sind einige Sätze aus Vitruvius ausführlicher Beschreibung der Herstellung: »Es wird dazu eine Achse entweder auf der Drehbank bearbeitet oder nach dem Zirkel behauen; an den beiden Enden werden Eisenbeschläge angebracht. Man zimmert rings um die Welle ein Rad und befestigt seitwärts herum kubische Kästchen, die mit Pech und Wachs gedichtet sind — modioli quadrati pice et cera solidati —. Wenn dann das Rad von

[1]) Erwähnt sei, daß das Schöpfrad ein symbolisches Zeichen hohepriesterlicher Würde bei den Juden war.

den Tretern bewegt wird, so werden die gefüllten Kästchen nach oben kommen, wo die sich in den Sammelkasten entleeren.« Diese Wasserräder hießen τύμπανον[1]). Beiläufig sei hier erwähnt, daß auch das Zahnradgetriebe und das (schräg oder vertikal stehende) zu beliebigem Zwecke angewendete Tretrad denselben Namen führten, der ursprünglich eine Pauke sowie ähnliche Schlaginstrumente bedeutet, dann aber auf ähnlich gestaltete Apparate übertragen wurde.

Ein anderes »Tympanon« der Alten bestand aus einer um eine horizontale hohle Achse drehbaren Zylindertrommel, welche durch Längsscheidewände in mehrere Abteilungen geteilt war und gewissermaßen als ein Schöpfrad mit bis zur Achse sich erstreckenden Gefäßen aufzufassen ist. Das Wasser tritt an dem unteren eingetauchten Teile des Trommelmantels ein, wird im Laufe der Drehung des Tympanon etwa bis auf die Höhe der Achse gehoben, fließt dann auf den Scheidewänden wie auf schiefen Ebenen der hohlen Achse zu und verläßt hier den Apparat.

Von Wasserrädern, welche den in unseren Tagen wieder zur Wasserhebung gebauten Rädern analog konstruiert sind, hat man Exemplare in Gruben von San Domingos und von Verespatak gefunden, die von Pošepný beschrieben worden sind (»Österr. Zeitschr.« 1868 und 1877).

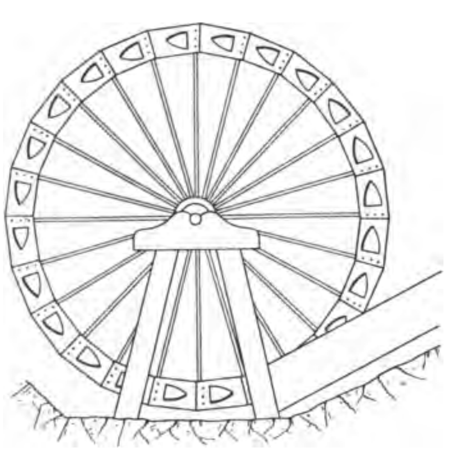


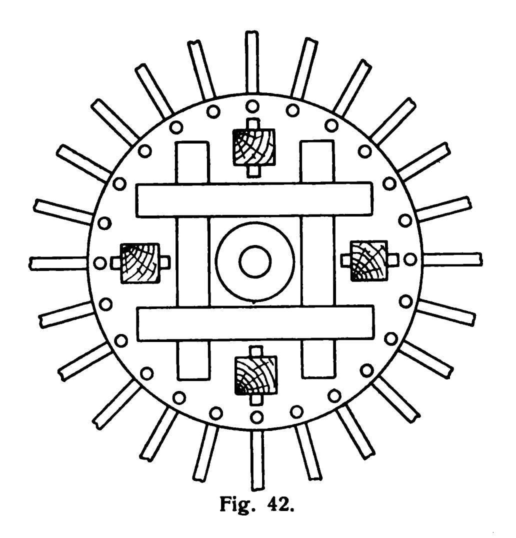
Fig. 41.

Das zu Verespatak in Fragmenten gefundene Rad, von welchem nebenstehend ein Bild gegeben wird (Fig. 41), hatte 24 Schaufeln; jede Schaufel bestand aus einem am äußeren Rande etwa 25 mm, am Zapfen etwa 38 mm starken, rund 160 mm breiten Buchenholzbrette. 25 bzw. 175 mm vom äußeren Kranzende enthielt das Schaufelblatt 12 mm breite und 6 mm tiefe, mit der Säge ausgearbeitete Rinnen; an den Schaufelseiten waren je drei kantige, 2 Zoll tiefe Nagellöcher vorhanden. Der im ganzen 1,46 bis 1,48 m lange Schaufelarm war am Zapfen 70—75 mm dick, am unteren Schaufelende aber 55 mm. Die Seitenabgrenzung der Schaufeln wurde durch zwei $^1/_3$—$^1/_2$ Zoll starke Buchenbretter in

[1]) Gebräuchlichere Form statt τύπανον von τύπτω.

Bogenform, die mittels Überblattung aufeinandergepaßt und zusammengenagelt waren, gebildet. Diese Brettchen hatten jederseits einen dreieckigen Ausschnitt. Den äußeren und inneren Kammerboden bilden zwei in die Schaufelblattrinnen eingelegte Buchenbretter von 0,5—0,6 Zoll Dicke. Die Radwelle war 1 m lang, in der Mitte zirka 30, am hölzernen Zapfen zirka 12,5 cm stark; der Zapfen selbst war bei 12,5 cm Länge nur 5 cm stark; die Schaufelstiele saßen mit etwa 2,5 cm Fleischzwischenraum in der Welle, die in ihren Zapfen durch zwei dreiseitig behauene auf divergierenden Stützen gelagerte Balken unterstützt wurde. Das insgesamt 100 kg schwere, mit Ausnahme der Nägel gänzlich aus Holz konstruierte Rad hatte einen Durchmesser von etwa $3^1/_3$ m; es stand etwa 1 m unter der Sohle der zunächst liegenden Strecke. Ein Ausflußgerinne wurde nicht mehr vorgefunden. Bewegt wurde das Rad ausschließlich durch die Kraft der Arbeiter.

Das Modell eines Heberades aus der Kupfergrube San Domingos, in der Nähe des Zusammenflusses des Chança und Guadiana, war nach Pošepný auf der Weltausstellung in Philadelphia rekonstruiert ausgestellt. Im großen und ganzen war die Konstruktion der in den spanischen Römerbauten gefundenen Heberäder — es sind im ganzen acht große von je 4,875 m Durchmesser und zwei kleinere von je 3,66 m Durchmesser gefunden worden — der des Verespataker Rades ähnlich, nur waren die Stiele der 24 Schaufeln aus zwei Sparren gebildet, die nach Fig. 42 mittels Quernägel an zwei auf der Achse befestigten hölzernen Scheiben angebracht waren. Die zum Wasserableiten vorhandene Rinne lag etwa $3^3/_4$ m über dem Wasserspiegel des Zuführungsbaues so daß der Effekt der Hebung nur etwa 76 % des theoretisch möglichen betragen konnte. Auch in Tharsis, Rio-Tinto und im alten Mann des Michaeliganges unter dem (römischen) Annastollen in Ruda (Siebenbürgen) hat man solche Heberäder gefunden, die alle dem ersten bis vierten nachchristlichen Jahrhundert angehören.


Fig. 42.

Ebensolche Räder benutzte man etwa seit dem ersten vorchristlichen

Jahrhundert zum Umtreiben der Mühlsteine, und es ist wohl anzunehmen, daß man sich ihrer auch gelegentlich zum Antrieb der Aufbereitungsmühlen bedient habe, ebenso wie man (siehe oben) sie bei der Zerteilung der Schieferplatten zum Antrieb der Sägen benutzte.

Endlich kannte man im Altertum eine Reihe von Pumpen. Wann und von wem die gewöhnliche Saugpumpe erfunden worden ist, kann nicht festgestellt werden; wahrscheinlich war sie aber bereits

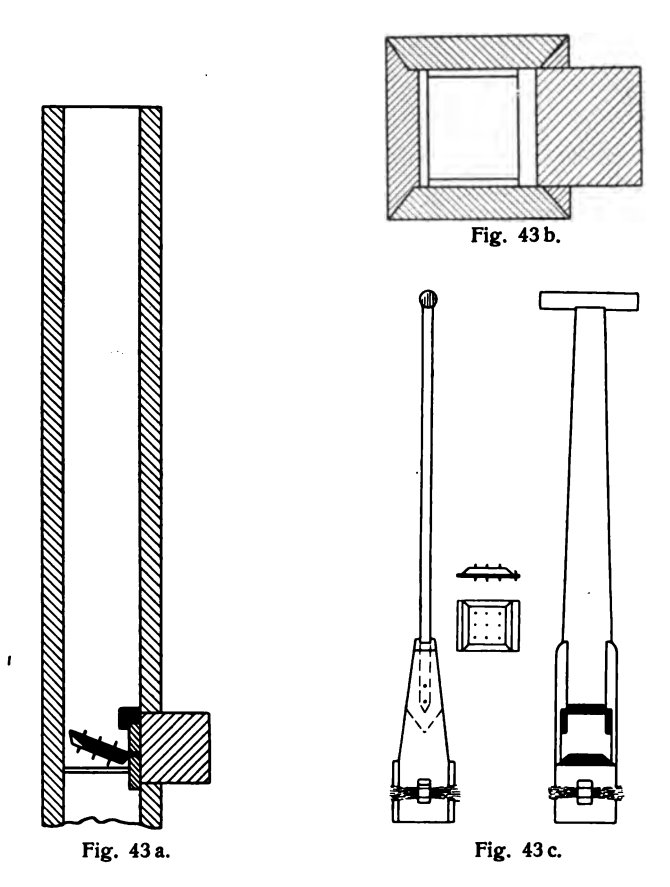


Fig. 43 b.

Fig. 43 a. Fig. 43 c.

im alten Ägypten in Anwendung. Bei Aristophanes wird eine antlia erwähnt; es scheint, nach Martials Äußerungen zu urteilen (»Die antlia ist eine Maschine, um Wasser aufzuziehen«), eine einfache Saugpumpe gewesen zu sein. Daneben geschieht eines als »siphon« bezeichneten Apparates Erwähnung, der aber auch andere Vorkehrungen als Pumpen zum Heben und Ausgießen von Wasser bezeichnet. Daß »siphon« eine Saugpumpe bezeichnete, geht aus mehrfachen Äußerungen der Alten hervor. So lehrten die platonischen

Philosophen, daß die Seele an den Freuden des Himmels teilnehmen solle, »wie durch einen sipho«; Theophrast erklärt durch den sipho das Aufsteigen des Marks in den Knochen und Columella das des Saftes in den Bäumen. Plinius erwähnt siphones (hist. nat. XIX, c. 4), mit welchen man Gärten bewässerte, und an anderer Stelle (hist. nat. XVI, c. 42) nennt er das Holz der Fichte, Tanne und Erle besonders gut zum Bau von Pumpen und Wasserleitungsröhren, die man durch Ausbohren der möglichst geraden Stämme herstellte. Es ist anzunehmen, daß solche Apparate, weil sie sehr gewöhnlich waren, auch in den Gruben zur Wasserhebung Anwendung fanden.

Auch die alten Japaner haben sich derselben bedient; nach Netto (a. a. O., II, S. 372, 1879) besteht die noch bis heute in unveränderter Form erhaltene Vorrichtung, von der Fig. 43 eine Darstellung gibt[1]), aus einem prismatischen, oben und unten offenen hölzernen Kasten von zirka $3^1/_2$ m Länge und etwa 12·12 qcm lichter Weite, in dessen unterem Teile ein sich nach innen öffnendes Klappenventil eingesetzt ist. In diesem allenthalben gedichteten Kasten wird ein entsprechend großer, mit Stroh und Leder gedichteter Kolben mittelst Kolbenstange unmittelbar von Hand bewegt. In flachen Schächten sind die von je ein Mann bedienten Pumpen untereinander eingebaut; die untere hebt in den Saugkasten der nächst oberen; die vertikale Hubhöhe beträgt etwa 1,2—1,9 m, der Kolbenweg etwa drei Fuß, die Menge des pro Hub gehobenen Wassers etwa 5 shio = 9 l.

Den Übergang von diesen Apparaten zu der dem Ctesibius zugeschriebenen, von Plinius (hist. nat. VII) und Vitruv (de arch. X, 7) erwähnten und mit einem Windkessel ausgerüsteten Pumpe bildet gewissermaßen die von Vegetius erwähnte Blasebalgpumpe, bei welcher behufs Vermeidung von Stößen in den Leitungen und zur Erzielung eines möglichst gleichmäßigen Wasserausflusses ein Ledersack mit einer abgeschlossenen Menge Luft in die Leitung eingeschaltet war. Auch sie paßte nur für geringe Höhen.

Für größere Höhen und Wassermengen war die angeblich um 150 v. Chr. von Ctesibius in Alexandria erfundene Druck- und Saugpumpe eingerichtet. Von ihr berichtet Vitruvius (l. X, c. 7) folgendes:

»Diese Maschine (Fig. 44) besteht aus Bronze und besitzt zwei gleichgebaute vertikale Pumpenzylinder, die nicht weit voneinander abstehen (*a*) und durch zwei sich mitten vereinigende Abzweigungen (*c*) in den Windkessel *d* einmünden. In dem Windkessel bringt man Ventilklappen (*e* — Druckventile —) an der oberen Mündung der

---

[1]) Fig. 43b im $1^1/_2$fachen Maßstabe von Fig. 43a und 43c.

Verbindungsröhren an, welche genau anschließen und das, was der Luftdruck in den Windkessel gepreßt hat, nicht mehr zurücktreten lassen. Oben schließt sich an den Windkessel eine einem umgestülpten Trichter ähnliche Klappe an, die durch eine Art Klammer, deren Zusammenhalt ein Keil bewirkt, mit jenem zusammengeschlossen wird, damit nicht die Gewalt des Wassers sie aufzuheben vermag. Daran schließt sich die senkrecht in die Höhe führende sogen. Steigröhre an. In die Pumpenzylinder aber sind unter der Sohle der horizontalen Verbindungsrohre Ventile (*g*) auf die am unteren Ende angebrachten Saugrohre (*h*) aufgesetzt.

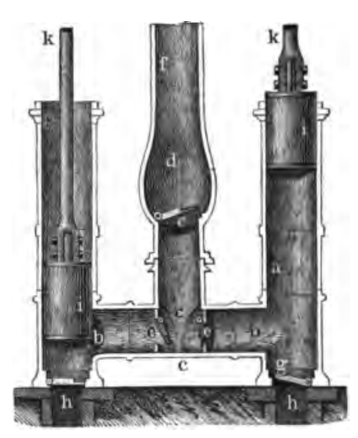


Fig. 44.

Werden nun von oben her die massiven, gedrehten und mit Öl geschmierten Kolben, die genau in die Pumpenzylinder passen, mittelst Kolbenstangen und Hebeln in Bewegung gesetzt, so drücken sie in beiden Zylindern abwechselnd auf die mit Wasser dort eingeschlossene Luft, schließen die Ventilklappen an den unteren Öffnungen (*g*) und drängen durch die Luftpressung das Wasser durch die Mündungen der Verbindungsröhren in den Windkessel, von welchem es in die Klappe steigt und durch den Luftdruck durch das Steigerohr in die Höhe getrieben wird.«

Eine solche Pumpe hat man (nach Beck, Geschichte des Eisens, I, S. 579) in den Ruinen von Castrum novum gefunden; bei ihr wird die Wirkung des Druckes und der Elastizität der Luft in ingeniöser Weise vereinigt zur Anwendung gebracht.

l) Tiefbohrwesen.

Äußerst wenig nur wissen wir von einer von den Alten nachgewiesenermaßen ausgeübten Industrie, die mit unserer Tiefbohrung zur Erbohrung von Wasser, Sole oder Erdgas zu vergleichen wäre. Seit undenklichen Zeiten bilden die am Wüstensaume wohnenden Araber Innungen für die Brunnenbohrkunst. Sie haben den sog. artesischen Brunnenbau von den Ägyptern gelernt, von denen bereits Olympiodorus angibt, daß sie gebohrte Brunnen von 2—300, ja bis 500 Ellen Tiefe hätten, welche das Wasser über der Erdoberfläche ausgössen, wo man es als Berieselungswasser

für die Ländereien verwende. Die großen Oasen von Theben und Dachel sind fast siebartig mit Bohrbrunnen durchörtert, von denen viele im Laufe des verflossenen Jahrhunderts von neuem eröffnet worden sind. Auch die II. Mos. 17, 1—6 niedergelegte Erzählung von der »Tränkung Israels aus einem Felsen«, den Moses »mit dem Stabe schlug«, haben wir uns aller Wahrscheinlichkeit gemäß als eine Wasserbeschaffung aus einem Bohrbrunnen zu denken. Die Wüstenbrunnen der Araber sind etwa 30 m tief; in dieser Tiefe liegt eine ziemlich mächtige harte Kalksteinschicht, die mit einem einige Zoll weiten Loche durchstoßen wird, worauf aus der unteren wasserführenden Schicht ein Quell hervorspringt. Der Kunstfertigkeit der Wüstenanwohner scheint sich auch Alexander d. Gr. bedient zu haben; lesen wir doch bei Strabo (l. XV, c. 68) daß er, als er nach Gedrosien zog, vor sich her Bergleute in die Wüste sandte, welche Brunnen für das Heer graben mußten.

Auch die Sage von Herkules beschäftigt sich mit einer Tat, die man als Erschließung von artesischem Wasser deuten kann. Herkules kam danach einst an die Stelle, wo heute der Ciminische See liegt (beim Mte. Cimino, unweit von Vico in Mittelitalien), und als die Einwohner von ihm eine Kraftprobe forderten, stieß er eine Eisenstange so tief in den Erdboden, daß niemand dieselbe herauszuziehen vermochte. Dann trat er wieder hinzu und zog mit einem einzigen Ruck die Stange heraus, worauf aus der Öffnung so viel Wasser hervorquoll, daß daraus ein See entstand.

Seit mindestens 2000 Jahren ist auch in China die Bohrtechnik in Ausübung. Alles, was zum Bohrbetrieb nötig ist, z. B. den Bohrturm, die Gestänge, Futterröhren, selbst die Bohrer und die Fanggeräte, stellen die Chinesen aus Bambusrohr her. Als Motor benutzen sie Menschenkraft oder den Esel. Das Objekt, nach dem gebohrt wird, ist Sole, daneben wird das aus den Bohrungen gelegentlich ausströmende Gas zum Versieden der Sole mitgewonnen. Die Hauptindustrie auf Sole ist seit undenklicher Zeit auf die Provinz Se-chuen, der westlichsten an Tibet grenzenden Landschaft konzentriert. Die Technik des Bohrens ist folgende (nach dem Berichte des französischen Missionars M. L. Coldre (vgl. Tecklenburg, Handbuch der Tiefbohrkunde, 1893, V. Band, S. 206):

Bis aufs feste Gestein wird mit Spaten und Haue ein Vorschacht abgeteuft. Dann umrandet man das Mundloch mit Steinen, oder man setzt geradezu den Vorschacht mit durchbohrten Steinen aus, um die man gegebenenfalls noch Kleinschlag einbringt. Über dem Bohrloche wird dann in irgend einer Form ein Bohrturm mit einem Göpel und Getrieben zum Heben und Senken des Bohrgerätes, dessen Handhabung stets am Seil geschieht, gebaut.

Bei geringem Gewichte des Gerätes bewegt man dasselbe durch Arbeiter, die auf einer schiefen Ebene sitzen und am Seile ziehen. Bei

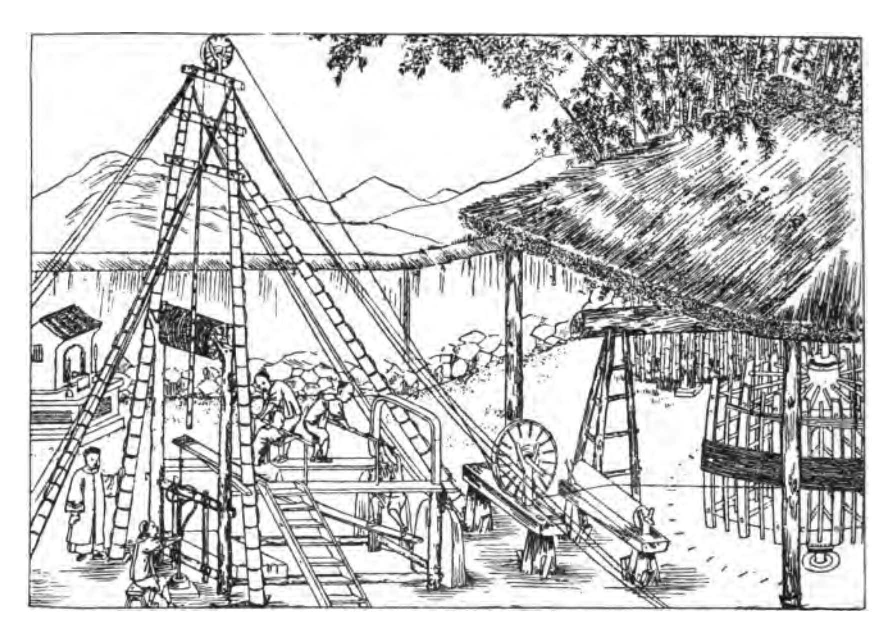


Fig. 45.

größeren Bohrungen dient zum Stoßen der Bohrschwengel, Fig. 45, den dann 2—3 Mann auf und ab wuchten, indem sie von den zu beiden Seiten befindlichen Plattformen abwechselnd auf die entgegengesetzten Enden des Schwengels springen. In der Minute erfolgen 12—15 Schläge, zu deren Ausführung bis zu zehn Mann angelegt sind, die sich von zehn zu zehn Minuten ablösen.

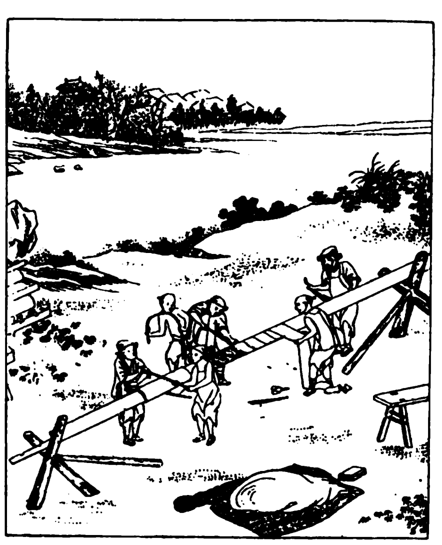


Fig. 46.

Zur Verrohrung dienen Bambusrohre, die durch Umwicklung mit Segelleinwand und Kittung mit Harz undurchlässig gemacht werden (Fig. 46). In durchlässigen Schichten wird eine wasserdichte Verbindung durch Einbringen

von Harz ins Bohrloch hergestellt, nach dessen Erhartung die Durchbohrung erfolgt.

Das Bambusseil ist etwa 1 cm dick und wird meistens auf einer an vertikaler Achse hängender Trommel aufgewunden.

In gutem Gestein teuft man in 24 Stunden zwei Fuß ab, so daß ein einzelnes Bohrloch oft drei Jahre Zeit absorbiert.

m) Markscheidekunst.

Die Uranfänge der Markscheide- und Feldmeßkunst gehen ins höchste Altertum hinauf, indem bereits bei den ältesten Menschen, so primitiv auch ihre Bedürfnisse gewesen sein mögen, sich die Notwendigkeit herausstellte, Messungen zu veranstalten, welche sich auf die Einteilung von Raum und Zeit bezogen.

Man brauchte Längenmaße, welche man durch Abschreiten gewann; man wurde gar bald auf die Erkenntnis von der Gleichheit aller rechten Winkel geführt, man lernte aus der Anschauung von Horizont, Sonne und Mond die Form des Kreises, das Himmelsgewölbe führte auf die Gestalt der Kugel, und die gesellschaftlichen Verhältnisse, welche auf den Erwerb und die Scheidung von Mein und Dein drängten, zwangen dazu, speziell für den in Anspruch genommenen Grund und Boden, Grenzen des Besitzes in einer fürs Auge sichtbaren Form festzulegen.

Damit ist der Anfang der praktischen Geometrie, von der unsere Markscheidekunde ein Spezialgebiet ist, gegeben.

Kein Land leitete mehr zur Notwendigkeit, die Grenzen des Besitzes der Einzelnen durch Messung und Zeichnung gegeneinander festzulegen, als Ägypten, und zwar, weil der alljährlich das Land überflutende Nil die Grenzen vernichtete; deshalb sehen wir auch im Nillande die Quelle der praktischen Geometrie. Für die Forschung sind uns nur sehr wenig Materialien erhalten geblieben, weil der Brand der Bibliothek von Alexandria das allermeiste vernichtet hat. Die älteste Schrift, welche uns von einer Lösung vermessungstechnischer Probleme Kunde gibt, ist der im Jahre 1872 von Eisenlohr übersetzte und herausgegebene Papyrus Rhind, der jetzt im British Museum aufgehoben ist. Er stellt eine von Aamesu von einem Original unbekannten Alters im Anfange der 17. Dynastie hergestellte Kopie dar, enthaltend Anweisungen und Übungen zum Rechnen mit bekannten und unbekannten Zahlen, u. a. auch schon Anleitung zur Ermittlung des Inhalts von gleichschenkligen Dreiecken, Trapezen und Kreisen. Hier wird der Inhalt eines gleichschenkligen

Dreiecks von Saite a und Basis b angegeben zu $\frac{b \cdot a}{2}$; ein Trapez von gleichen Schenkeln a und den parallelen Seiten b_1 b_2 hat den Inhalt $\frac{a\,(b_1 + b_2)}{2}$. Den Inhalt eines Kreises gibt der Papyrus als das Quadrat von $^8/_9$ des Durchmessers an, daraus würde für π der Wert von $\left(\frac{16}{9}\right)^2 = 3{,}1604$, also ein unserem Werte nahestehendes Ergebnis, folgen.

Das älteste Erzeugnis markscheiderischer Tätigkeit stellt der von uns bereits besprochene Papyrus des Museums von Turin dar, auf dem der Grundriß eines Goldbergwerkes zur Darstellung gebracht ist. Der »Grubenriß« stammt aus der Zeit Mineptahs, der im Beginn des 15. vorchristlichen Jahrhunderts lebte.

Die Träger der Kenntnis der Feldmeß- und Markscheidekunst waren die Priester. Bereits um 1300 v. Chr. war das Katasterwesen in vorzüglicher Weise ausgebildet, wie wir bei Herodot (II, 109) lesen können. »Es soll aber jener Herrscher (Sesostris), indem er jedem ein quadratisches Stück Feld — κλῆρος — gab, das ganze Land unter die Ägypter aufgeteilt und daraus nach Anordnung einer bestimmten Jahresabgabe seine Einkünfte gezogen haben. Wenn aber der Fluß von dem Lande jemandes etwas mitnahm, so ging er zu ihm und besah das Geschehene, dann schickte er Aufseher und Vermesser hin und ließ diese bestimmen, um wieviel das Land verkleinert war, damit jener nach Maßgabe der Abgabe, welche angesetzt war, nur von dem Restteile bezahle.«

Von den Ägyptern kam die praktische Geometrie zu den Phöniziern und Chaldäern und durch diese zu den andern Kulturvölkern. Der erste, welcher sich in Griechenland der Kunst zuwandte, war Thales von Milet (620—543), der noch im hohen Alter in Ägypten Mathematik studierte und in Griechenland durch die von ihm geschaffene Schule Außerordentliches leistete. Aus seiner Schule gingen Anaximander und Anaximenes hervor; ersterer lehrte etwa ums Jahr 550 die Griechen den Gnomon kennen, dessen man sich nicht nur zur Einteilung des Tages, sondern auch für die Zwecke der Orientierung bei den terrestrischen Messungen bediente. Dieses Instrument, bestehend aus einer auf einer hohen Säule angebrachten Scheibe mit einem zentralen runden Loch, durch welches die Stellung der Sonne als ein heller Fleck in dem Schatten der Scheibe gesehen werden konnte, kannten die Juden bereits im achten Jahrhundert — von den Babyloniern her —, wie aus Jesaias zu ersehen: »Ich will den Sonnenzeigerschatten des Ahas zehn Linien zurückziehen, über die er gelaufen ist.«

Einer der größten praktischen Geometer war Pythagoras[1]). Sokrates verachtete die Kunst; Plato brachte ihr jedoch das größte Interesse entgegen, wie schon aus der Aufschrift seines Arbeitsgemaches hervorgeht: Μηδεὶς ἀγεωμέτρητος εἰσίτω: »Kein der Geometrie Unkundiger trete hier ein.« Im dritten Jahrhundert stand Eratosthenes in größtem Ansehen (275—194) durch seine Schriften betreffend die praktische Geometrie und die von ihm ausgeführte erste Gradmessung. Diese bezog sich auf den zwischen Alexandrien und Syene liegenden Erdbogen unter der Annahme, der Lauf des Nil sei von Süd nach Nord gerichtet. Der zu dem Erdbogen gehörende Zentriwinkel wurde als Unterschied der Zenithdistanzen bestimmt, wobei als Gestirn die Sonne diente. Es war bekannt, daß zur Zeit des Sommersolstitiums die Sonne im Zenith von Syene stand, da sie sich auf dem Wasserspiegel eines tiefen Brunnens zeigte; zu gleicher Zeit wurde die Zenithdistanz in Alexandria mit Hilfe des Sonnenschattens, den ein dem Radius gleicher lotrechter Stab in einer hohlen Halbkugel gab bestimmt. Der beschattete Bogen wurde zu $^1/_{50}$ des Umfanges gefunden. Die Entfernung Alexandria-Syene wurde auf Grund der Nil- und Straßenvermessungen zu 5000 Stadien angenommen, der Erdumfang demnach zu $50 \cdot 5000 = 250\,000$ Stadien, das sind, soweit die Maßvergleichungen auf diese Bestimmungen angewendet werden dürfen, rund 46 Millionen Meter (es soll sein 40 000 000 m).

Auch den Berg- und Gestirnmessungen wandte Eratosthenes seine Aufmerksamkeit zu und meinte dabei zu finden, daß kein Berg höher als 500 Stadien sei. Die Sonne nahm er als 27 mal so groß als die Erde, die Entfernung derselben von der Erde zu 408 Myriaden Stadien, die des Mondes zu 78 Myriaden Stadien an. Auch die Schiefe der Ekliptik maß Eratosthenes, hier erhielt er das Resultat, daß der Abstand der Wendekreise sich zum Meridianumfang wie 11 : 83 verhielte. Die Messung seiner Breitegrade gibt einem um 14—15 Minuten geringeren Wert.

Bis ins zweite Jahrhundert behielten die alten Näherungsformeln in der Feldmeßkunst die Oberhand; erst Hero von Alexandrien beseitigt diese, schrieb große Abhandlungen über praktische Geometrie und Mechanik und wies namentlich der Messung mit dem Diopter einen größeren Raum zu. Als Diopter bezeichnete man jedes Instrument, durch welches man sah, z. B. nannte man das von Hipparch angegebene Instrument zur Bestimmung des Durchmessers von Sonne und Mond auch ein Diopter.

Verglichen mit diesem Apparat hatte indes Heros Konstruktion

---

[1]) 580—500; geboren zu Samos, gestorben zu Metapontum iu Oberitalien.

Ganz entsprechend gebauter Mühlen bedienten sich die Chinesen und Japaner in ihren Aufbereitungsstätten. Sie sind bei Netto, Japan. Berg- und Hüttenwesen, Mitt. d. deutsch. Ges. f. Völkerk. Ostasiens II, 1879, abgebildet; auch Treptow reproduziert sie so wie Fig. 54a—c zeigt (zwei Exemplare befinden sich u. a. im Münchener ethnographischen Museum). Die Mahlflächen sind in Sektoren geteilt und nach verschiedenen (tangentialen) Richtungen gefurcht. Der in den Unterstein *B* eingelassene, dem Oberstein *A* Führung gebende Zapfen *d* besteht aus hartem, mit Bandeisen verstärktem Holze. In eine Vertiefung des Läufers ist eine seitliche hölzerne Handhabe *a* eingelassen. Die obere

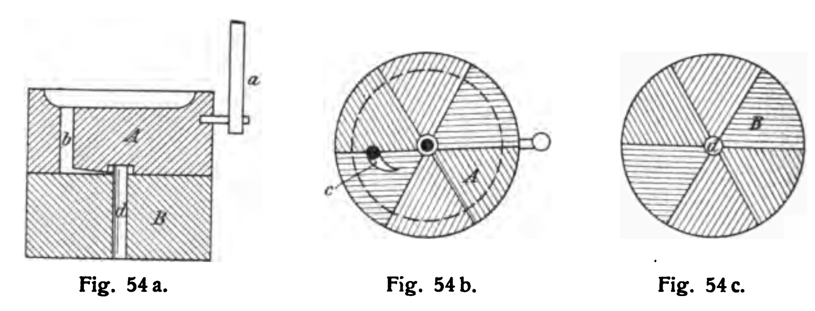


Fig. 54a. Fig. 54b. Fig. 54c.

Fläche ist zur Aufnahme des zu zerkleinernden Gutes muldenförmig vertieft; als Eintrag dient eine exzentrische senkrechte Durchbohrung *b* von etwa 2 cm Weite, deren untere Mündung (bei *c* in der Figur) nach der dem Drehen entgegengesetzten Seite etwas erweitert ist. Das Material wird unter Zufluß von Wasser aufgegeben; das zerkleinerte Gut tritt zwischen den Steinen aus. Die Handhabung der Mühle geschieht so, daß 1—2 Mann das Eintragen besorgen, während die Drehung des Läufers durch weitere vier Mann mittelst Schubstange vollzogen wird. Diese ist einerseits über die abgebildete Handhabe *a* gesteckt, am anderen Ende mit einer Querstange zum Angreifen versehen.

Im laurischen Bezirke gelangte man durch die aufeinanderfolgenden Zerkleinerungsoperationen bis auf die Größe eines Hirsekornes (κὲγχρος), daher man mit κεγχρεών geradezu die Zerkleinerungsanlage bezeichnete (z. B. bei Pollux VII, 90).

Nach dem mit einer fortdauernden Ausscheidung des Tauben Hand in Hand gehenden Zerkleinern unterzog man die Erze einem weiteren Anreicherungsprozesse, den das Altertum ebenso wie die deutsche Sprache als Waschen, lavare, πλύνειν, καθαίρειν, bezeichnet.

In Laurium haben sich an hundert Erzwäschen bald mehr, bald weniger gut erhalten, so daß wir uns am besten aus diesen Resten über den Stand der Dinge unterrichten und dabei das von anderen

10. die Höhe eines Berges zu bestimmen;
11. die Tiefe eines Grabens zu bestimmen;
12. einen Berg in einer Geraden zu durchstechen, wenn an den Seiten desselben zwei Punkte gegeben sind;
13. in einen Berg einen Schacht senkrecht auf eine gegebene Strecke zu graben;
14. eine Grubenstrecke ist gegeben. Auf der Erdoberfläche sei ein Punkt so zu bestimmen, daß ein dortselbst gegrabener Schacht in einem bestimmten Punkte in die Strecke einmündet;
15. eine schiefe Ebene von gegebenem Fallwinkel zu bestimmen;
16. mit dem Diopter auf einer Linie von uns aus einen Punkt zu bestimmen, daß derselbe eine gegebene Entfernung hat;
17. von einem gegebenen Punkte aus eine gegebene Entfernung zu nehmen, ohne sich dem Punkte zu nähern und ohne eine Gerade zu haben, nach der man die Entfernung nehmen kann;
18. ein Feld mittelst des Diopters zu messen;
19. nach einem Plane ein Feld wieder einzugrenzen, dessen Grenzpunkte bis auf 2 oder 3 verschwunden sind;
20. durch Gerade von einem Punkte aus ein Feld in bestimmte Teile zu teilen;
21. ein Feld zu messen, ohne auf ihm zu sein;
22. ein Paralleltrapez oder ein Dreieck durch Parallelen in bestimmte Teile zu teilen;
23. die Fläche eines Dreiecks aus den Seiten zu ermitteln;
24. die Entfernung zweier unter verschiedenen Erdstrichen liegender Orte zu ermitteln.

Ein spezielles Interesse für uns bieten die folgenden Aufgaben Herons.

I. Einen Berg in gerader Richtung zu durchstechen, wenn die Öffnungen des Durchstiches gegeben sind. περὶ διόπτρας XV. Vgl. Fig. 47.

Die Basis des Berges sei $\alpha\beta\gamma\delta$; bei β und δ seien die Mundlöcher des Durchstichs. Von β nehme man die Gerade $\beta\varepsilon$, von ε mit dem Diopter die Gerade $\varepsilon\zeta$, ferner ebenfalls mit dem Diopter $\zeta\eta$. Von η aus werden $\eta\iota$, $\iota\varkappa$, $\varkappa\lambda$ bestimmt. Dann schiebt man den Diopter auf $\varkappa\lambda$ hin, bis sich δ zeigt; dies sei bei μ der Fall; es ist dann $\mu\delta \perp \varkappa\lambda$. Nun denke man $\beta\varepsilon$ bis ν verlängert und $\delta\nu$ senkrecht darauf errichtet; man kann dann die Länge von $\delta\nu$ aus $\varepsilon\zeta$, $\eta\iota$, $\varkappa\mu$ berechnen (vgl. Problem 2).

Sei $\beta\nu = 5\,\delta\nu$ gefunden, und $\beta\delta$ werde bis χ verlängert gedacht, alsdann $\chi o \perp \beta\varepsilon$ gemacht, desgleichen $\beta\chi$ bis π verlängert und $\pi\rho \perp \delta\mu$

gemacht. Also wird ebenso βo das Fünffache von $o\chi$ sein und $\delta\rho$ das Fünffache von $\rho\pi$. Haben wir nun auf $\beta\varepsilon$ den beliebigen Punkt o angenommen und $o\chi \perp o\beta$ gezogen, so hat $\beta\chi$ richtige Lage; haben wir ebenso $\pi\rho \perp {}^1/_5\,\delta\rho$, so hat $\delta\pi$ die richtige Lage nach δ zu. Man

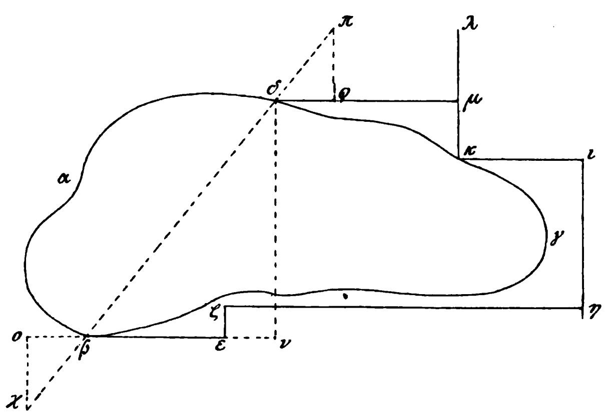


Fig. 47.

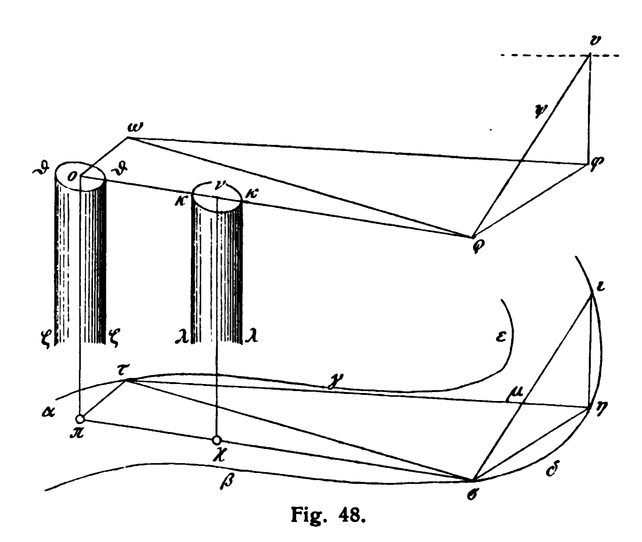


Fig. 48.

hat demnach von β aus in der Richtung nach $\beta\chi$, von δ aus in der Richtung nach $\delta\pi$ durchzuarbeiten.

II. Ist ein unterirdischer Gang gegeben, so soll man in dem darüberliegenden Boden einen Punkt finden, von wo man einen Brunnen zu graben hat, vermittelst dessen man einen bestimmten Punkt des unterirdischen Ganges treffen kann. Siehe die Fig. 48.

»Der Gang sei $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$; $\delta\zeta$ und $\varkappa\lambda$ seien die Brunnen, der gegebene Punkt in der Grube, nach dem der Brunnen gehen soll, sei μ. Durch die Brunnen läßt man nun Gewichte an Seilen $\nu\chi$, $o\pi$ herunter. Nach Einnahme der Ruhelage zieht man durch o und ν die Gerade $o\nu\rho$. Durch π und χ zieht man dann unten die Gerade $\pi\chi\sigma$; σ liege am Stoß; $o\rho$ mache man gleich $\pi\sigma$. Nun nimmt man ein genau geprüftes Seil, welches sich nicht mehr längen kann; ein Ende knüpft man in σ an, das andere in τ und von hier nach π. $\pi\tau$ und $\tau\sigma$ werden gemessen und über Tage abgetragen; es entsteht also hier das Dreieck. $o\omega\rho$. Dann nimmt man einen anderen Punkt η, spannt das Seil so, daß Dreieck $\tau\sigma\eta$ entsteht, trägt dies ebenso oben ab als Dreieck $\omega\rho\varphi$, von dem $\rho\varphi = \sigma\eta$, $\omega\varphi = \tau\eta$ ist. Konstruieren wir endlich an $\sigma\eta$ ein Dreieck, so zeichnen wir dies auch an $\sigma\varphi$, bis wir nach μ kommen. Damit nicht Fehler gemacht werden, verlängern wir $\sigma\mu$ bis ι und ziehen $\iota\eta$. An $\varphi\rho$ soll das Dreieck $\varphi\rho\upsilon$ liegen mit den Seiten $\rho\upsilon = \sigma\iota$ und $\varphi\upsilon = \iota\eta$; ferner soll $\rho\psi = \sigma\mu$ gezeichnet sein. Demnach wird ψ über μ liegen. Wird also von ψ aus ein Brunnen gegraben, so kommt er, wenn er senkrecht ist, nach μ, weil die Dreiecke in der Grube und über Tage ähnlich und gleichgelegen sind. Man muß aber versuchen, horizontale Dreiecke zu zeichnen.«

Die erste Methode der Durchschlagsangabe stellt sich nach der gegebenen Beschreibung als die Bestimmung des Abstandes zweier gegenseitig nicht sichtbarer Punkte aus einem gebrochenen Linienzuge, verbunden mit der Konstruktion ähnlicher rechtwinkliger Dreiecke dar, eine Methode, die bei genauer Linienabsteckung und sorgsamer Winkelrichtung bei Zugrundelegung einer exakten Zeichnung als eine für genügende Resultate geeignetes Arbeitsverfahren bezeichnet werden muß.

Die zweite Methode, der Bestimmung des Einschlagspunktes eines Schachtes an bestimmtem Punkte dienend, ist wegen der Dehnbarkeit der Schnüre, der Ungleichheit der Meßebene, der über Tage nicht selten vorliegenden Unmöglichkeit, das Liniennetz genau analog dem unter Tage ausgespannten Zuge zu führen, und der fehlenden Winkelbestimmung mit einer Reihe von Fehlern behaftet, die ein günstiges Resultat sehr oft wohl haben vermissen lassen.

Wie man sonst (wohl nur gelegentlich?) einen Durchschlag zu erzielen versuchte, davon gibt uns Herodot (IV, 200) ein Beispiel; es heißt hier: »Als die Perser unter Amasis um 540 die hellenische Stadt Barka in Africa belagerten und dabei bis in die Stadt hinein Minen gruben, entdeckte dies ein Schmied dadurch, daß er einen ehernen Schild auf den Boden stellte und horchte, wie dieser dröhnte, wenn unter ihm gearbeitet wurde. Dort machten dann die Barkaner einen Gegengang und töteten die persischen Grubenarbeiter.«

Zum Schlusse dieses Kapitels haben wir einen Rückblick auf die Orientierung nach dem Stande der Magnetnadel zu werfen, bzw. zu sehen, ob und wieweit eine solche im Altertume bekannt war. Die Kenntnis der anziehenden Kraft des Magneteisens konnte einem Volke, bei dem dieses Gestein gefunden wurde, unmöglich verborgen bleiben, und da das Mineral in Europa und Asien an manchen Stellen gelegentlich in großen Quantitäten, vorkommt, so muß das Faktum schon sehr früh bekannt und verbreitet worden sein. Die griechischen Schriftsteller spielen auch in mehr als einer Stelle, sowohl in ihren philosophischen als ihren poetischen Werken, auf die anziehende Kraft an, und möglicherweise werden sich in den noch nicht bekannt gewordenen Schätze anderer antiker Literaturen noch mehr Hinweise auf die Bekanntschaft mit dem Magnetismus und dem Magneten ergeben.

Was die Griechen anlangt, so kennt Plato die Eigenschaft des natürlichen Magnetsteins, eine Reihe von eisernen Ringen aneinanderhängend festzuhalten, aber keine Andeutung ist bei ihm zu finden, daß man etwas von dem Polarmagnetismus des Minerals wußte; vielmehr wird das Haftenbleiben des Eisens am Magneten auf »eine gewisse göttliche Kraft« zurückgeführt.

Man hat ferner bei Aristoteles eine Notiz finden wollen, aus der seine Kenntnis von der magnetischen Richtkraft hervorgehen sollte; doch mag in bezug hierauf nur der Hinweis gegeben werden, daß die Stelle, auf die sich diese Behauptung stützt, uns nur aus einer arabischen Übersetzung bekannt ist, die sehr vieles Aristotelische mit Begriffen des Übersetzers vermischt, außerdem aber so viel Naiv-Kindliches enthält, daß sie des Aristoteles direkt unwürdig erscheint.

Außer Griechenland sind China, Arabien, Norwegen, Frankreich, Italien und England als die Länder genannt worden, in denen zuerst die Entdeckung der magnetischen Richtkraft gemacht worden sei, aber von all diesen Vermutungen haben nur die zwei einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich, daß China und Norwegen die ersten Gebiete gewesen sind, in denen die Kenntnis von den Eigenschaften des Magnetismus aufgekommen ist. Zeitlich steht die Entdeckung in China weit voraus, indem sie bereits lange vor dem Beginn unserer Zeitrechnung registriert wird.

Pater Du Halde, der lange Zeit in China lebte und nach chinesischen uralten Quellen eine »Description de l'Empire de la Chine« schrieb, berichtet darin von dem Kaiser Hoang-ti, der einem Rebellenfürsten Tchi-yeou eine Schlacht lieferte, folgendes: »Als er (Hoang-ti) bemerkte, daß bei der Verfolgung dicke Nebel sich herabsenkten und ihn an der Innehaltung des richtigen Weges hinderten, ließ er einen Wagen bauen, der ihm stets die vier Himmels-

richtungen anzeigte. Mit diesem Hilfsmittel überraschte er Tchi-yeou, nahm ihn gefangen und ließ ihn hinrichten.« Hoang-ti war der dritte Herrscher der ersten Dynastie, und das beschriebene Ereignis fällt nach Klaproth (lettre à Mr. A. v. Humboldt, sur l'invention de la boussole, Athenaeum No. 396. 1836) in das Jahr 2634 v. Chr. Über die Konstruktion dieser Fahrzeuge mit orientierender Magnetnadel berichtet eine chinesische Chronik, daß der Kaiser Hiang-tsoung aus der Thang-Dynastie, der 806—820 regierte, den Plan zum Bau dieser Apparate festlegte. »Inmitten eines kleinen Pavillons, an dessen vier Ecksäulen Holzdrachen zur Verzierung angebracht waren, befand sich eine kleine Holzfigur. Die ausgestreckte rechte Hand dieser Figur deutete stets nach Süden, wohin sich auch der Wagen wenden mochte.« Unter der Holzfigur war eine sich von N. nach S. einstellende Magneteisenmasse oder eine Nadel angebracht. Szu-ma-thsiou, der in der ersten Hälfte des zweiten Jahrhunderts unserer Ära nach einer großen Anzahl von authentischen chinesischen Quellen seine Szu-ki oder Memoiren sammelte, berichtet aus dem Jahre 1040 v. Chr., daß der kaiserliche Minister Tcheou-kong einer Gesandtschaft der »Yue-chang-chi, die im Süden von Kivo-tchi wohnen« (Tonkin und die nördliche Partie von Cochinchina ist gemeint) beim Abschiede fünf Magnetwagen mitgab, die stets den Süden anzeigten. Die Gesandten bestiegen die Wagen, erreichten die Küste des Meeres mit ihnen und kamen ein Jahr später in ihrer Heimat an.

Im Jahre 235 errichtete der Kaiser Kian-king den Thsoung-houa-tian-Palast, ein Museum, in dem er eine Unmasse von Seltenheiten sammeln ließ, von neuem aus den Trümmern und ließ auch den Gelehrten Ma-kiun einen den Süden anzeigenden Wagen bauen bzw. rekonstruieren.

Aus diesen Daten geht hervor, daß den Chinesen bereits sehr zeitig die Orientierung mittelst des Magnetismus bekannt war, und zwar kannten sie nicht nur die Fähigkeit des natürlichen Magneteisensteins, zu orientieren, sondern auch die Fähigkeit des Eisens, durch Streichen oder Nebenaneinanderliegen mit einem natürlichen Magneten von diesen die Attraktionskraft anzunehmen. Daß dies letztere der Fall war, geht aus den folgenden Stellen hervor: Im Lexikon des Hiu-tchin (121 n. Chr.) wird der Name eines Steins erwähnt, »mit dem wir der Nadel Richtkraft geben« (er heißt Tshu-chy = Liebesstein, Tchu-chy = leitender, weisender Stein, Hy-thy-chy, der Stein, der Eisen anzieht).

Unter der von 265—419 regierenden Tsin-Dynastie sagt das große Lexikon Poi-wen-yun-fon: »Sie hatten Schiffe, die ihren Kurs mit der magnetischen Nadel lenkten.«

Dasselbe Werk zitiert eine Stelle aus einem im elften Jahrhundert

verfaßten Buche: »Die Wahrsager reiben die Spitze einer Nadel mit dem ‚Liebesstein', um ihn zur Anzeige der südlichen Himmelsrichtung geeignet zu machen.«

Welches war nun die Beschaffenheit der eigentlichen Kompasse der Chinesen? Man magnetisierte eine eiserne Nadel, steckte sie durch ein winziges Stäbchen von Binsenmark und ließ sie auf Wasser schwimmen, oder aber man hängte die Nadel mittelst eines feinen Knötchens Wachs an einen dünnen Faden und ließ dieselbe dann an einem windfreien Orte ruhig schwingen. Die Windrose wurde in 8, 16, 24 Teile zerlegt; die Namen dieser Teile sind nicht immer die Namen der Winde, obwohl sie dafür angewandt werden, vielmehr meist die Namen von Zeitabschnitten. Außer diesen Einteilungen und Bezeichnungen hatten sie allerdings noch eine Reihe anderer, deren Bedeutung, vermutlich astrologischem Gebiete angehörend, uns und jedenfalls auch den modernen Chinesen größtenteils unbekannt ist. Das Gehäuse der Kompaßnadel bestand aus Holz und enthielt die Richtungsbezeichnung auf dem Boden.

So sicher nun die Konstruktion und die Existenz dieser Instrumente bezeugt ist, und so unzweifelhaft auch deren Anwendung im Seewesen und selbst beim Bauwesen ist — die Mauern von Peking sind in Nord-Süd-Richtung gebaut, und zwar um 3° 30' vom astronomischen Meriadian nach Südosten abweichend, entsprechend der damals (Ming-Dynastie 1384—1644 n. Chr.) herrschenden Deklination —, so wenig wissen wir Positives von der speziellen Anwendung des Kompasses beim Bergwesen. Wir sind hier vollkommen auf Vermutungen angewiesen; es läßt sich aber kein Grund angeben, weshalb bei dem Bekanntsein der Apparate und Erscheinungen dieselben nicht auch für die bergmännischen Zwecke bereits bald nach ihrer Erfindung benutzt worden sein sollten.

Aus Japans Bergwesen ist uns eine Anwendung des Setzkompasses in der unterirdischen Vermessung ausdrücklich durch die Rollbilderpublikation Treptows bezeugt[1]), die aller Wahrscheinlichkeit gemäß Gegenstände und Arbeiten aus der ältesten Zeit des japanischen Bergwesens zur Darstellung bringt, wobei zu bemerken bleibt, daß Japan seinen Bergbau aus dem »Reiche der Mitte« bekommen hat.

Zur Messung von Längen haben die Chinesen und Japaner Bambusstäbe mit Einteilung benutzt bzw. bis auf den heutigen Tag noch in Gebrauch. Welches Hilfsmittels sie sich zur Messung von Neigungswinkeln bedienten, ob ihnen die Wasserwage oder ein dem Gradbogen ähnliches Instrument bekannt war, wissen wir aber nicht.

[1]) Treptow, Altjapanisches Berg- und Hüttenwesen. Freiberg 1904.

II.

Die Aufbereitungstechnik.

Fast auf allen antiken Bergwerksplätzen scheint die Ausführung der Anreicherungsmanipulationen vorwiegend in der Hand von alten Leuten, Frauen und Kindern gelegen zu haben; nur aus dem laurischen Bergbaubezirke kennen wir eine besondere Klasse von männlichen Arbeitern, die bei der großes Geschick erfordernden Handsonderung tätig waren, und die als τεχνίτης bezeichnet werden (Diodor III, 12; Platon, d. Staatsmann 303 E).

Der Anreicherungsprozeß begann, wie wir bereits bei der Förderung hervorhoben, in der Grube in der Nähe des Förderschachtes, wo in einer größeren Kammer eine Ausschlägelung der größeren Gesteinsbrocken vorgenommen wurde, um bei der Fortschaffung der Erze die Last möglichst zu erleichtern.

Diese Handscheidung wurde über Tage fortgesetzt und daran der weitere Prozeß angeschlossen, dessen allgemeinen Gang uns u. a. Plinius (XXXIII. 4. 21) und Hippocrates (I, 4) als eine Aufeinanderfolge von mehrmaligem Zerstampfen und Auswaschen schildern, deren letztem dann das Ausschmelzen folgte.

In manchen Fällen scheint man das Haufwerk vor dem eigentlichen Anreicherungsprozesse geröstet zu haben, um das Gestein mürbe zu machen und seine mechanische Bearbeitung zu erleichtern.

Von dem Mitterberger Kupferbergbaue sind durch Much solche Röstplätze bekannt geworden, die sich schon dem äußeren Anblick durch den spärlichen Pflanzenwuchs vor allem anderen präsentieren. Hier fanden sich zahlreiche Kohlenreste und rostbraune Färbungen der Erde, herrührend von dem zerfallenen Spateisenstein, der in den Mitterberger Erzen den Hauptbestandteil bildet.

Die Rösteinrichtung muß höchst primitiv gewesen sein; vielleicht überließ man die Erze nur in freien, oder allenfalls ringsum mit Steinen eingefaßten Haufen der zerfällenden Einwirkung der Hitze, die wenigstens den in den Erzen stark vertretenen Schwefel zum Teil entfernte.

gewesen, von denen nebenstehende Fig. 33 (nach eigner Aufnahme des Verfassers) ein Bild gibt. Die Stempel sind unten zugespitzt und etwa 10 cm unter der oberen Endfläche von einem 3·5 qcm großen Loch durchbrochen, in welches die Zapfen der Rundholzkappe passen. Die Verbindung schützt mehr gegen seitlichen als gegen Firstendruck. An eben derselben Stelle fand sich auch eine größere Anzahl von Nadelholzzapfen, von denen zu vermuten ist, daß sie aus zur Verschalung hinter der Zimmerung benutzten Zweigen herstammen. Letztere sind vermodert, und nur die daranhängenden Früchte haben sich erhalten und erinnern an die »Nüsse« der Wetterauer Braunkohle, die sich ebenfalls ganz gut erhalten konnten, während die Struktur der dazu gehörenden Hölzer vollständig verloren ging.

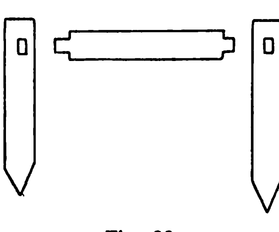


Fig. 33.

Schachtausbau findet sich nur sehr selten; wenn solcher vorhanden ist, so ist es trockene Mauerung aus groben Steinen, einige Meter von dem Mundloche an sich abwärts erstreckend. Sie diente dann zur Festhaltung der losen Schuttmassen, welche aus dem Abteufen des Schachtes gefallen waren, und welche man als Schachthalde aufgestürzt hatte. In einem von den Römern herrührenden Gesenk in der Bleierzlagerstätte des Tanzberges bei Keldenich, unweit Mechernich, fand sich ein Ausbau im ganzen Schrot, dessen einzelne Jöcher gleichfalls durch Verzapfung ineinandergefügt waren. Ähnlicher Brunnenausbau fand sich auf der Saalburg bei Homburg v. d. H.

f) Förderung.

Ebenso primitiv wie der Grubenausbau war auch die Förderung. Da in den weitaus allermeisten Fällen die Ausdehnung der metallführenden Lagerstätte das Maß für die Weite der Strecken und Baue war, so ist es erklärlich, daß die letzteren unregelmäßig sind; wer in einen solchen einfährt, kann nur gebückt oder kriechend, ja nicht selten nur auf allen Vieren voranfahren. Als Fördergefäße dienten Säcke, geflochtene oder aus Brettern zusammengesetzte Tröge, kleine Kesselchen aus Blech. Innerhalb der Strecken förderte man wohl meist durch Handreichung bis an die Mündung des Schachtes oder bis in eine größere Kammer, wo man eine Ausschlägelung vornahm. Danach füllte man das Gut in größere Gefäße, die dann entweder von Hand zu Hand durch die auf Spreizen sitzenden Sklaven herausgereicht wurden oder — in flachen Schächten — auf dem Rücken herausgetragen

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel ledern e Säcke, für die man die Bezeichnungen σάκκος, σάκκιον, σάκτηρ, oftmals auch θύλακος findet. Die Arbeiter nannte man θυλακοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐκφορεῖν, φορεῖν, θυλακοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλακοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάκοις περιφέροντες τὰ χώματα καὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐκαλουντο καὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34 a u. 34 b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken

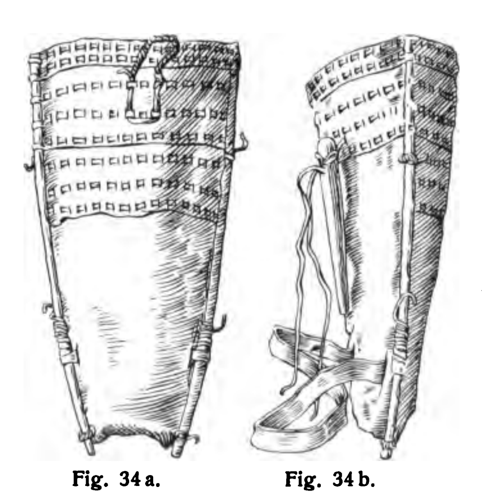
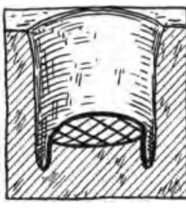
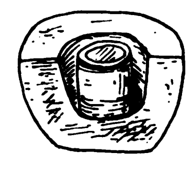


Fig. 34 a. Fig. 34 b.

zurückgeblieben. Fig. 27 ist ein Kern aus Alabaster, gefunden in Kem Ahmar.

Das engste im Granit hergestellte Bohrloch hatte nach Fauck (a. a. O. S. 7) einen Durchmesser von 50 mm; die noch engeren Bohrlöcher standen im Kalk oder Alabaster an. Eigentümlich ist, daß die Kerne sich nach oben verjüngen, während die Bohrzylinder nach oben weiter werden. Dieser Umstand mag wohl darauf deuten, daß man keine sorgsame und fließende Wasserspülung benützt hat. Nach diesen Funden kann man sich den Kernbohrer als Bronzerohr mit eingesetzten Diamanten vorstellen. Die Rohre waren $^1/_4$—5 Zoll (außen) weit und $^1/_{30}$—$^1/_5$ Zoll stark. Daß man im Altertume zum Steingravieren wahre Diamanten kannte, beweist die Äußerung des Plinius (Hist. nat. XXXVII, 5. 15), daß »die Steinschneider die Diamantsplitter in Eisen fassen und ohne Schwierigkeit damit in jeden anderen Stoff graben«. Daß man Bronzerohre zum Einsetzen der Bohrdiamanten benützte, beweisen die nach Flinders Petrie in den Bohrlöchern gefundenen grün überzogenen Sandkörnchen, sowie der grüne Anlauf der Bohrlochwandungen, der außerdem die Verwendung einer geringen Wasserspülung ersichtlich macht.


Fig. 26.


Fig. 27.

Angewendet wurden solche Gesteinsbohrarbeiten auch dann, wenn mehrere Säulenstümpfe aufeinanderzusetzen waren, um eine große Säule daraus herzustellen. Man füllte dann die in der Achse jedes Stumpfes je zur Hälfte hergestellte Bohrung mit einem passenden Verbindungsbolzen aus, den man in der unteren Säulenpartie verbleite oder sonst befestigte. In größtem Maßstabe kann man dagegen die genannten Arbeiten im Innern der auf anstehendem Fels aufgerichteten großen Pyramide von Gizeh sehen. In El Birscheh sieht man nach Flinders Petrie die Spuren von 18 Zoll tiefen Bohrungen, mit Hilfe deren man eine Kalksteinplattform abgetragen hat.

Sehr überraschend ist die Größe des aufgewendeten Druckes; bei den 4 Zoll weiten Bohrungen nimmt Flinders Petrie einen Minimaldruck von 1—2 t im Granit an. An dem in der ersten Figur wiedergegebenen Granitkern sinkt die Spirale des Schnittes im Umfange von 6 Zoll um 0,1 Zoll, d. h. 1 : 60, eine für Granit ganz staunenerregende Leistung verratend.

Während die im vorstehenden geschilderte Hereintreibe- und Gesteinsbohrtechnik verhältnismäßig jungen Perioden angehört, ist die Arbeit mit Schlägel und Spitzkeil eine der ältesten bergmännischen

Handarbeiten, deren Gebrauch sich bis in die Zeit der ausschließlichen Benutzung des Steins verfolgen läßt. Harte Knochen- oder Geweihstücke, daneben lange und kantige Steine mußten als Keile dienen, dazu bildete ein größerer rundlicher Stein, in der Faust geführt, die Urform des Hammers. Solche helmlosen Hämmer sind bis zum Gewichte von 9,5 kg (Baue von El Aramo) gefunden worden. Die Herstellung zweckdienlicherer Werkzeuge führte später zum Zurechtschlagen des natürlichen Steines. Als Material für die Hämmer wurde, da es hierbei auf ziemlich bedeutende Festigkeit ankommt, neben den hornblendehaltigen Gesteinen Diorit, Gabbro und Serpentin namentlich die zähen Materialien Nephrit, Jadeit und die mit ihnen verwandten Mineralien Saussurit und Chloromelanit benutzt. Auch Süßwasserquarz und Kieselschiefer, sowie dichte Lava kommen als Material zu Hämmern vor.

Wo derartiges Gestein in größerer Menge und besonders geeigneter Qualität zu finden war, da entstanden förmliche Bergbaubetriebe auf dasselbe, an welche sich Werkstätten für die Herstellung von Geräten und Werkzeuge anschlossen, wo das Material für den oft weit ausgreifenden Tauschverkehr bearbeitet wurde. Derartige Werkstätten haben z. B. in der Umgegend von Mons in Belgien (Glückauf, Essen, 1894, S. 1323), bei Kent (Globus 1900, S. 200), bei Syrakus bestanden. Aus Asien sind Nephritsteinbrüche am Karakusch durch A. v. Schlagintweit bekannt geworden (Globus 1900, Nr. 19), auch bei Khotan; ferner sind am Baikalsee Nephritwerkstätten gefunden worden. In Nordamerika haben bei Seneca, Missouri (Globus 1895, Nr. 147) und an der Mündung des Ontonagonflusses in den Oberen See (Glückauf 1879, Nr. 58) solche Steinwerkstätten bestanden, ebenso wie bei Pachuca in Mexiko.

Um dem Schlage eine größere Wucht zu geben, andererseits wohl auch um einer schnellen Ermüdung in etwa vorzubeugen, wurden mit der fortschreitenden Entwicklung der Bergtechnik die Steinhämmer behelmt. Die Art der Befestigung hat im Laufe der Zeit wesentliche Wandlungen erfahren. Die Stiele schwererer Fäustel wurden aus einer Rute gebildet, die zusammengebogen und dann mittels Riemen in einer um den Stein herumlaufenden, eingeschlagenen Rinne befestigt wurde, so daß also ein zweifacher Stiel entstand. Hierbei drehte man die Weide an der Stelle der stärksten Krümmung auf, analog wie das heute auch noch die Korbflechter zu tun pflegen. Solche Fäustel sind aus vielen antiken Bergbauen bekannt geworden, die Behelmung ist aber nur selten konserviert geblieben; von den Tschudengruben am Altai beschreibt sie Pallas (Reisen d. versch. Prov. d. russ. Reiches, 1771—76, Bd. II, S. 592 ff.) und nach ihm Hellwaldt (Zentralasien,

S. 81); vom Mitterberg beschreibt sie Much (Das vorgeschichtliche Kupferbergwerk auf dem Mitterberge, Wien 1879, S. 14). Je ein Exemplar aus den Kupfergruben von El Aramo und aus Rio Tinto zeigen die Figuren 28 und 29 (nach Treptow, Mineralbenutzung in

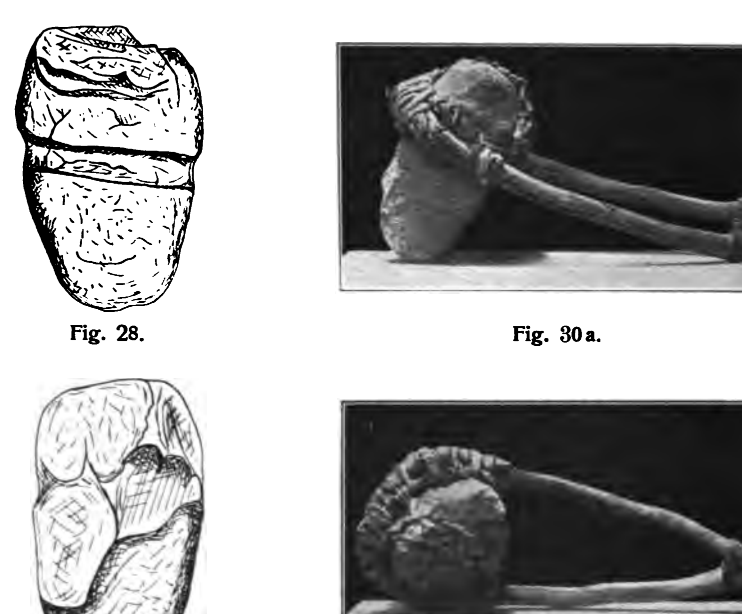


Fig. 28. Fig. 30 a.

Fig. 29. Fig. 30 b.

vor- und frühgeschichtlicher Zeit, Freiberg 1901, Craz & Gerlach, S. 16). Die Originale besitzt die Bergakademie Freiberg. Ein mit Behelmung erhaltenes Exemplar aus Chile — Chuquiquamata; Original gleichfalls in Freiberg — ist in den beiden Figuren 30 a und b dargestellt. Vom Oberen See sind sie bis zum Gewicht von 18 kg bekannt geworden (Treptow, Mineralbenutzung, S. 17).

Fig. 31.

Später wurden die Fäustel zur Aufnahme des Stieles durchbohrt. Sie kommen erst gegen Ende der Steinzeit auf, wenn sie nicht gar unter dem Einflusse metallener Vorbilder entstanden sind, analog, wie die Bestielung der Steinhämmer in der oben angegebenen Weise die Metalläxte ihrerseits insofern beeinflußt hat, als auch diese zuerst ohne Lochung benutzt, vielmehr durch Einstecken in das eine gespaltene Ende eines krummgewachsenen Astes geschäftet und dann durch Umbinden mit Schnüren festgehalten wurden (vgl. hierzu Fig. 31). Die

durchbohrten Steinhämmer tragen das Schaftloch meist etwas nach dem Rücken zu gelegen, so daß nur einseitig benutzbare Geräte entstehen. Nach den auf uns gekommenen unvollendeten Stücken und zahlreichen Bohrkernen zu schließen, geschah die Durchbohrung mit Hilfe eines hohlen Zylinders aus Horn- oder Knochensubstanz, während das eigentliche Agens feuchter und scharfer Sand war, den man während des — etwa durch Bogen und Sehne bewirkten — abwechselnden Hin- und Herdrehens zwischen den Bohrer und das entstehende Bohrloch streute.

Der bekannte österreichische Altertumsforscher Graf Wurmbrand hat seinerzeit aus zwei vertikalen Ästen, einem zur Aufnahme der Bohrvorrichtung gelochten Querast aus Hirschhorn und einer in einem vertikalen Stab verschnürten Geweihendsprosse als Bohrer, einen Apparat zusammengestellt, wie er wohl zur Ausführung dieser Bohrarbeiten gedient haben kann. Schon 1875 erbrachte Wurmbrand damit durch wiederholte Bohrungen in Serpentin und anderen Gesteinen den Nachweis der Möglichkeit der Durchbohrung von Steinsachen ohne Anwendung von Metall [1]).

Ebenso wie die Steinfäustel durch das ganze Altertum hindurch eine überraschende Formenkonstanz aufweisen, finden sich auch die metallenen Schlägel in denselben Gestalten bei Japanern, Chinesen, Ägyptern, Tschuden, Kelten, Griechen, Römern und Germanen. Sie bestehen aus Eisen, Stahl oder Bronze, bei den Tschuden aus Kupfer, und weichen in ihren Grundformen kaum von den heutigen Hammermodellen ab. Entweder sind sie beiderseits flach und dann durchweg vierkantig, sowie mit einem meist runden Stielloche versehen, so daß sie von beiden Seiten zum Treiben des Keiles oder zum Zerschlagen gebraucht werden können, oder sie sind nur auf einer Seite platt, auf der anderen aber in einer stumpfen Spitze ausgezogen, so daß sie einerseits zum Antreiben des Keiles, andererseits zum Spalten Anwendung finden können. Fig. 32 zeigt einen laurischen Berghammer, τυπίς, nach Ardaillon, Les mines du Laurion dans l'antiquité, Paris, Fontemoing, 1897, S. 21. Ein analoger Hammer ist in der alten Grube von la Baume bei Villefranche (Aveyron) gefunden worden (s. Daubrée, Revue archéol. 1881, p. 207, Fig. 5).

Fig. 32.

Im Steinbruchsbetriebe wandten die Alten glatte und gezahnte Sägen, Feilen und Steinmeißel an. Als eigentliches

[1]) Nicht unerwähnt soll bleiben, daß die Römer die steinernen Geräte als vom Himmel gefallen ansahen und sie selbst nicht zum Arbeiten benutzten, sondern mit abergläubischer Verehrung behandelten und bei Opfern und anderen religiösen Handlungen gebrauchten.

Agens benutzte man Sand beim Sägen; als die besten Sorten nennt Plinius (Hist. nat. XXXVI, 9) den »aus dem Mohrenlande und den aus Indien«[1]).

Zum Antriebe der Steinsägen — Plinius kennt sie (Hist. nat. XXXVI, 44: In Belgica provincia serra lapidem secant) aus dem belgischen Gallien — wandte man im 4. Jahrhundert Wasserkraft an; in dem Moselliede des Ausonius, in dem der Gelbis (Kyll) und der »marmore clarus Erubrus«, der durch »Marmor« (hier ist aber »Schiefer« zu lesen) berühmte Ruver gepriesen werden, heißt es unter anderem:

»Weit ist Gelbis bekannt durch edle Fische, doch an jenem,
Wo der Ceres Gestein in unaufhörlichem Schwung sich
Dreht und die knarrende Säge den glatten Marmor zerteilet,
Hört man beiden Ufern entlang anhaltend Getöse.«

Neben der Gesteinsarbeit mit dem Eisen ist die Hereingewinnung mittels Feuersetzens uralt. In den prähistorischen Gruben am Mitterberge und am Altai gleich wie in den ägyptischen Gruben, bei der Schmirgelgewinnung auf Naxos, in allen alten Römerbauen, in Frankreich, England, Ungarn, findet man durch Feuersetzen aufgefahrene Strecken, die sich zum Unterschiede von mit dem Gezähe vorgetriebenen Bauen durch einen hohen, in der Firste spitzbogenartig gestalteten Querschnitt, eine Folge der nach oben intensiver zur Geltung kommenden Flamme, auszeichnen.

Auch den Juden war das Feuersetzen bekannt, wie aus Jeremias 23, v. 29, am besten aber aus Hiob 28, v. 5, zu schließen ist. Dort heißt es: Ist nicht mein Wort wie Feuer (spricht der Herr) und wie ein Hammer, damit man die Berge einwirft? Hier aber: Ein Erdreich, darauf Speise wächst, wird unten umgewühlt vom Feuer (Vulgata: Terra, de qua oriebatur panis in suo loco, igni subversa est). Im laurischen Gebiete hat man dagegen aus mehreren Gründen kein Feuersetzen angewendet; zunächst wegen des permanenten Holzmangels, der die Griechen sogar zur Seeeinfuhr von Brennholz zum Gebrauch in den Schmelzstätten zwang, dann aber auch wegen der minder großen Gesteinshärte, welche bei einer Arbeit mit dem Eisen noch gute Resultate erzielen ließ.

---

[1]) Steinsägen sind auch von den oben bereits genannten Mediomatrikern am Odilienberge angewandt worden, woselbst gewisse, von altersher bekannte Einschnitte im anstehenden Gestein nicht, wie man früher annahm, Blutrinnen für heidnische Opfer gewesen, sondern eben dem mit Sand vorgenommenen Absägen der Blöcke ihre Entstehung verdanken (Köln. Ztg., 10. VIII. 1907).

Daß man tatsächlich nur die äußerst harten Gesteine mit Feuer angriff, erhellt u. a. aus Diodor (l. III, c. 6), wo es heißt: terram auro gravidam, ubi durissima est, igni subactam emolliunt et tum demum manuum opus adhibent; und Plinius sagt: occurrunt silices; hos igne et aceto rumpunt (Hist. nat. I, 33).

Außer aus tatsächlichen Funden kennen wir aus den alten Schriften eine Reihe von Gelegenheiten, wo man sich des Feuersetzens zur Gewinnung von Gestein bedient hat. So erzählt Cassius Dio (36, 8), daß die Mauern der böotischen Stadt Eleutherion mit Essig gesprengt worden seien. Hier könnte man allerdings, vorausgesetzt, die Mauern seien aus Kalksteinen aufgeführt gewesen, auch an eine langsame Lösung des Steinmaterials durch aufgegossenen [warmen?] Essig denken. Galenus berichtet (I, 22, 16), der Essig durchdringe Stein, Erz, Eisen, Blei gleich dem Feuer. Ähnliches sagt auch Plinius (Hist. nat. XXIII, 27) von dem Essig: Saxa rumpit infusum, quae non ruperit ignis antecedens.

Ein großartiges Beispiel von Feuersetzen finden wir endlich in der livianischen Erzählung von Hannibals Alpenübergang. Hierüber heißt es (Liv. XXI, 36 u. 37): Die Soldaten wurden beordert, einen Felsen zu ebnen, über den man unbedingt den Weg nehmen mußte; zu dem Zwecke wurden ringsum sehr große Bäume gefällt, und aus deren Ästen und Stämmen ein außerordentlich hoher Holzstoß erzeugt, den man bei einem mächtigen, die Verbreitung der Flamme begünstigenden Winde anzündete. Das durch den Brand glühend gemachte Gestein wurde durch aufgegossenen Essig mürbe gemacht, und durch das erhitzte und gebräch gewordene Gestein bahnte man mit eisernen Hauen einen Weg, der nicht nur den Lasttieren, sondern auch den Kriegselefanten einen bequemen Übergang ermöglichte.

Beiläufig erwähnt, mögen die Punier, wie auch Plinius zu tun scheint, dem Essig (oder Essigwasser, welches sie als Getränk in reichlicher Menge mit sich führten — posca —) eine besondere Wirkung beigemessen haben, sonst würden sie die heißen Felsen wohl mit dem reichlich vorhandenen Schnee resp. Schneewasser abgekühlt haben (Hoppe, Beitr. z. Gesch. d. Erfind., Heft I, 1889, Clausthal). Das Gestein riß man nach dem Erkalten mit Brecheisen herein oder trieb es mit Keilen ab; zum Anfassen noch heißer Brocken hatte man, wie aus einem 1903 bei Palazuelos bei Linares gefundenen Relief hervorgeht (Notiz Köln. Ztg., 6. Juni 1903), gelegentlich eiserne Zangen zur Hand.

Lange war ungewiß, ob den Amerikanern das Feuersetzen bekannt war. Namentlich hat man es den Kupferbergleuten des

Oberen Sees abgesprochen, da man sich mit der — angeblichen — Unbekanntschaft des Kupferschmelzens die Anwendung des Feuers zur Gesteinsgewinnung nicht hatte erklären können. Es sind jedoch nicht nur gegossene Geräte aus Kupfer gefunden worden, so z. B. eine Axt von der Form, wie sie in den mounds vorkommt, zu Auburn, Cayuga Cty, New-York (Squier, Oboriginal Monuments of the State of New-York, Washington 1849, S. 78), sondern man hat auch in den Gruben selbst Spuren des Feuersetzens entdeckt. Schmidt (Archiv für Anthropologie XI, S. 65 ff.), Rivot (Berg- und Hüttenmänn. Zeitung 1856, S. 326), Dieffenbach (ebenda 1858, S. 27) haben Mitteilung gemacht von in den Bauen gefundenen Haufen von Holzkohlen und Asche, die man nur als Reste von Feuersetzen denken kann. Nach Sir John Lubbocks »Prehistoric Times« (S. 219 ff.) brannten die Indianer Opferfeuer in vertieften Herdgruben von 5—8 Fuß Durchmesser und 10—20 Zoll Tiefe, in denen man außer Asche und Knochen viele Gegenstände des Gewerbefleißes findet, daher die Indianer leicht das Schmelzen von Kupfer lernen konnten.

In Peru finden sich (Ann. d. mines 1882, VIII. S., T. II, p. 571) sehr alte Steinbrüche auf dem Isthmus von Copacabana, die mit Feuersetzen getrieben wurden.

Als letzte der von den Alten ausgeübten Gewinnungsarbeiten sei das unserem »hydraulic mining« vollkommen entsprechende Verfahren der Hereingewinnung von Gestein durch strömendes Wasser hier erwähnt, von dem Plinius bei Gelegenheit des auf den nordwestspanischen Goldlagerstätten umgehenden riesigen Bruchbaues redet. Lassen wir dem Autor selbst das Wort: . . . »Meilenweit leitet man die Wasser über die Berge, dabei muß man das Gefälle bis zur Mündung möglichst stark nehmen, also das Wasser von den höchsten Gegenden herholen. Täler werden überbrückt und das Wasser darüber fortgeleitet. Wo zu steile, unzugängliche Felsen sind, werden sie zur Aufnahme der zum Kanalgerinne nötigen Balken und Bohlen ausgehöhlt. Die diese Arbeiten verrichtenden Leute hängen an Seilen, so daß sie von ferne nicht einmal wie ein Wild, sondern wie ein Vogel aussehen. Sie schweben in der Luft hin und her und zeichnen dem Kanal den Weg vor; ihre Hände räumen den Schutt und das Gerölle in Körben fort . . . An den obersten Abhängen der Berge legt man Teiche als Wasserreservoirs an, 200 Quadratfuß groß bei 10 Fuß Tiefe. An ihnen läßt man fünf je drei Quadratfuß große Auslauföffnungen. Sobald ein Reservoir voll ist, zieht man die Schützen und der Strom stürzt mit solcher Gewalt fort, daß er Felsen fortbewegt . . . Hierauf beginnt die Anreicherungsarbeit in der Ebene« usw.

e) Grubenausbau.

Betrachten wir nunmehr den Ausbau der Grubenräume und die Mittel zu ihrer Offenhaltung während des Betriebes. Wohlbekannt war sowohl den vorhistorischen Bergleuten, wie den Japanern, Chinesen, Nordamerikanern und den Ägyptern, den Griechen, Etruskern und Römern die Tatsache, daß die Form der Grubenräume von Einfluß auf deren Standhaftigkeit sei, deswegen finden wir ausnahmslos die Baue in der Firste gewölbeartig gehalten, so daß die Last des Hangenden vorwiegend auf die Stöße übertragen wird. Gangbergbaue und kleinere Weitungen finden sich fast ohne Ausnahme ohne eine Spur von Ausbau; in den größeren Weiten blieben Stützpfeiler stehen (μεσοχρίνεῖς, ὅρμοι, ὁμοερκεις, κίονες, fornices crebri montibus sustinendis), deren Aufrechterhaltung im laurischen Bergbaubezirke, wie bereits gesagt, durch Gesetz geboten war. Von einem Vergehen gegen dies Gesetz, von einem gewissen Diphilos begangen, kennen wir auch die Ahndung (aus Plutarchs Lycurg). Der Schuldige mußte den Giftbecher leeren und verlor seine ganze Habe im Betrage von 160 Talenten (fast $^{3}/_{4}$ Millionen Mark), die unter die Bürger verteilt wurden.

Die künstlichen Mittel zur Stützung des Hangenden bestehen in den Indianerbergbauen am Oberen See aus großen, oft weit hergeholten Steinen, aus denen regelrechte Pfeiler zusammengesetzt sind, je nach der im übrigen sehr wechselnden Höhe der Baue, sonst entweder aus Bergemauerungen, bei denen, wie in den etruskischen Betrieben, hinter einer Packung von groben Gesteinsstücken kleiner Schutt gefüllt wurde, oder aber aus Holzstempeln, bzw. Verbindungen von mehreren Hölzern. Holz ist als Material zum Grubenausbau während des ganzen Altertums immerhin recht selten; wohl deshalb, weil man es in der Hauptsache als Brennmaterial für die Feuersetzarbeit und die Schmelzhütten benützen mußte. Plinius erwähnt Holz als Ausbaumaterial bei seiner umständlichen Schilderung des spanischen Goldbergbaues: Tellus ligneis columnis suspenditur (Hist. nat. XXXIII, 4. 21 ff.). Einen Rest alter römischer Streckenzimmerung fand man in der Katalin-Monulestigrube im Letier Revier zu Verespatak (vgl. Pošepný, Röm. Schöpfrad in »Österr. Zeitschr.« 1877, S. 391, dgl. 1868, S. 153, 165). Die einzelnen Türstöcke standen unmittelbar aneinander; die Verbindung zwischen Stempel und Kappe geschah mittels langer am Stempel angeschnittener Zapfen, welche in Durchbrechungen der Kappe paßten. Ähnlichen Ausbau fand man in sardinischen Römergruben. Etwas hiervon abweichend sind die in den toskanischen Gruben von Selvena bei Sta. Fiora am Monte Amiata gefundenen römischen Türstöcke konstruiert

Der Windkanal diente auch zum Schlackenablauf und Aufbrechen der Luppe. Bemerkenswert ist die nach vorn geneigte Stellung des Schachtes, wohl dazu bestimmt, dem Winde auf der Rückseite einen

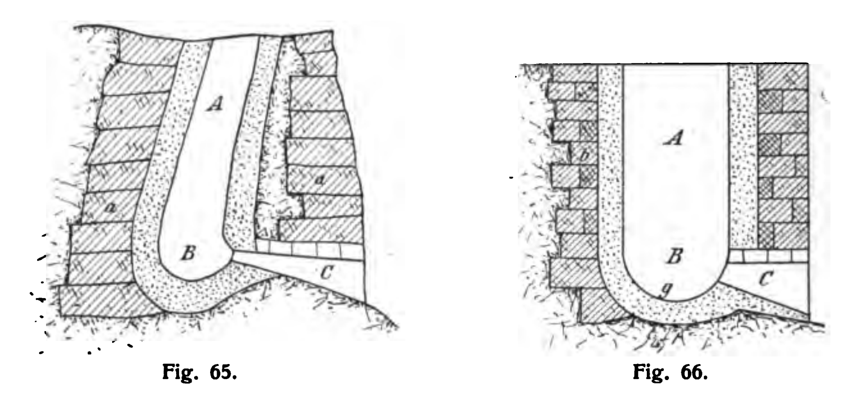


Fig. 65. Fig. 66.

leichteren Aufstieg zu gestatten, während vorne Erz und Brennmaterial dichter geschichtet waren.

Einen Windofen vom Kärnthner Erzberge stellt die folgende Figur 66 dar. Ein 1 m weiter und 1,70—2 m hoher senkrechter Schacht *A*, mit einem Quarztonfutter *g* ausgekleidet, schließt sich an einen Halbkugelherd *B* mit Windkanal *C* an; das Ganze steht in einem Rauhgemäuer *b*.

Eine dritte Form von Windöfen, ganz aus Steinen gebaut, ist in Fig. 67 zu sehen. Es ist eine zu Northamptonshire oft vor-

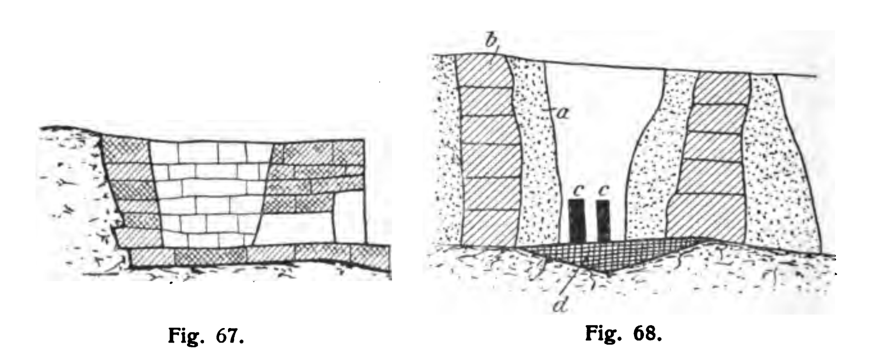


Fig. 67. Fig. 68.

gekommene Konstruktion eines römischen Bleiofens, bei welcher ein konischer Schacht von ca. 1 m Höhe und gleicher oberer Weite mit Wind- und Stichloch vorhanden ist.

In Figur 68 ist ein römischer Eisenofen, mit Gebläse betrieben, dargestellt, wie er 1878 von Dr. L. Beck am Dreimühlenborn beim

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel lederne Säcke, für die man die Bezeichnungen σάκκος, σάκκιον, σάκτηρ, oftmals auch θύλακος findet. Die Arbeiter nannte man θυλακοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐκφορεῖν, φορεῖν, θυλακοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλακοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάκοις περιφέροντες τὰ χώματα καὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐκαλουντο καὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34 a u. 34 b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken

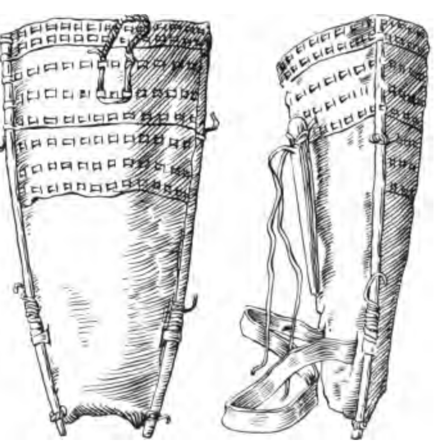


Fig. 34 a. Fig. 34 b.

anliegende mit drei, das breitere der Außenseite mit sechs eingeflochtenen Riemen. Am Rande des Sackes ist das Leder 5 cm breit umgelegt und durch zwei eingeflochtene Riemen befestigt. An die Längsnähte des Sackes sind mittels Riemen zwei etwas gebogene, an mehreren Stellen zwecks Befestigung durchlochte Rippen aus Eschenholz befestigt, welche oben und unten etwas herausragen. Zum Tragen des Korbes dient ein 6 cm breites, 1,20 m langes Lederband, welches unten in 10 cm Höhe durch das Leder gezogen und dann beiderseits dreimal um die Rippen gewunden ist. Da dieser um die Brust und eine Schulter gelegte Riemen zum sicheren Tragen nicht ausreichte, so ist am oberen Sackrande eine 0,4 m lange Tannenholzhandhabe angebracht. An dieser konnte der Sack im Gleichgewichte gehalten werden, während einfaches Loslassen der Handhabe ein Umkippen und Rückwärtsentleeren alsbald zur Folge hatte.

Konnte man diese Säcke am besten in flachen Schächten zum Tragen anwenden, so mußte man, um größere Massen auf ziemlich ebener Sohle fortzuschaffen, Schlepptröge anwenden, die entweder geflochten oder aus Brettern zusammengesetzt sind.

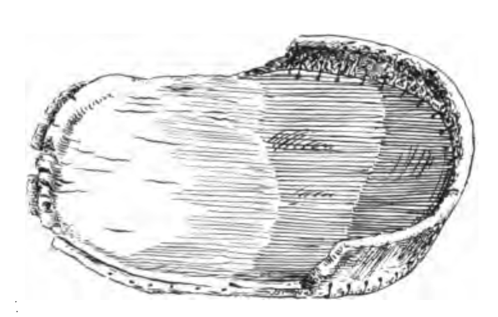


Fig. 35.

Ein zu El Aramo in Asturien gefundener Trog ist in Fig. 35 dargestellt (nach Treptows zit. Arb.). Er besteht aus einem ovalen Boden, an dem mittelst hölzerner Nägel ein niedriger Rand befestigt ist. Auch Reste eines Ledergriffes zum Schleppen finden sich daran.

Hinsichtlich des Massentransportes im Schachte kann man im Altertum zwei verschiedene Methoden unterscheiden. In vielen Fällen sind die Massen durch auf Spreizen sitzende Sklaven herausgereicht worden, in anderen muß man sich auch des Seiles in oder ohne Verbindung mit Haspeln bedient haben. Die Schächte der ersteren Art charakterisieren sich durch einander gegenüberstehende Gesteinslöcher, die den Sitzspreizen als Lager dienten und meistens in Entfernungen von nur 1,0—1,2 m übereinander ausgehauen sind. Bei Seilschächten fehlen indes diese Spuren; meist sind die Stöße ohne jedes Anzeichen eines Einbaus: in seltenen Fällen kann man die Einfuhren für die Wellen von Seilleitrollen bemerken, fast stets aber zeigt der obere Rand des Schachtes mehr oder weniger tiefe, vom Seil im Laufe der Zeit eingeschnittene Furchen. Man hat in solchen Fällen wohl Pferde oder

andere Tiere zum Seilziehen angewendet. In solchen Fällen hat man anscheinend manchmal Strecken- und Schachttransport miteinander in einer allerdings sehr primitiven Art vereinigt, indem man das zu fördernde Gut unmittelbar am Ort der Einfüllung in das Fördergefäß — Sack oder Trog — ans Seil schlug und dann zutage zog. Heute findet man diese Art der Förderung noch bei dem Herausbringen großer Basaltblöcke aus den unterirdischen Brüchen bei Mayen und Niedermendig, in einer Industrie, die überhaupt manche archaistische Formen bewahrt hat.

Die Ägypter wandten Seile aus Baumwolle, die Phönizier solche aus Flachs beim Bau der Brücke des Xerxes über den Hellespont in Verbindung mit Drehwinden an (Herodot VII, 36); aus dem Buche Hiob kennen wir Andeutungen über die Anwendung des Seiles (Kap. 28, Vers 4): »Gänge bricht man fern von den Angehörigen, von dem Fuß vergessen, hängen sie, fern von Menschen wanken sie.«

Nach Diodor (II, 2, 15) wurden zu Persepolis besondere Maschinen — Haspel — benutzt, um die Särge der Könige in die hoch im Felsen gehauenen Gräber zu schaffen.

Aus dem Bauwesen kennt Vitruv u. a. auch den Kreuzhaspel, sucula, den man mit Hilfe von vier Hebeln, rectis, bewegte, und es ist wohl anzunehmen, daß man diese Maschine, die genannter Autor (Arch. X, 8) in Verbindung mit Seil und fester Rolle geradezu als Fördermaschine bezeichnet, auch im Bergbau angewendet habe.

Schon die vorgeschichtlichen Bergleute in El Aramo und auf dem Mitterberge müssen den Haspel gekannt haben; denn am ersteren Orte zeigten mehrere gänzlich leere Schächte an den Stößen Seilspuren, und am Mitterberge fand sich (s. Much, Das vorgesch. Bergwerk, S. 13) ein Exemplar eines solchen in der halben Höhe eines Schachtes. Er lief mit seinen Achszapfen in zwei in den Felsen eingeklemmten Lagern aus Holz und zeigte noch deutlich die Treibspeichen.

In mehreren vorrömischen Schächten bei Agrigent fanden sich gleichfalls Spuren des Heraufziehens von Steinen an den Stößen (Holm, Gesch. Siziliens, I, S. 140), und in den alten Bleigruben Toskanas waren in den kaum $^1/_2$ m im Quadrat messenden Schächten (nach Haupt in Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1856, S. 88) etwa alle 10 m im Gestein die Löcher zu sehen, welche die Achsen der dem Seil als Führung dienenden Rollen getragen hatten.

Einen Kreuzhaspel fand Verfasser bei Selvena am Monte Amiata in — mutmaßlich — etruskischen Bauen. Die Treibspeichen waren tangential in trapezförmigen Einschnitten durch Keile befestigt.

Über Tage transportierte man Lasten nach der einen oder anderen der im folgenden angegebenen Methoden.

Zum Fortschaffen großer Steinblöcke bediente man sich hölzerner Walzen, die von Pollux als λιθουλικοί, von Plinius (Hist. nat. XXXV, 15) als extempores, von Paullus Silentiarius als δουρατέος κύλινδρος bezeichnet werden.

Auf den Gebirgshängen wurden die Lasten nach Strabo (XI, 43) in der Weise zu Tal geschafft, daß sich Schlepper und Last auf ledernen Schleppen (Felle, Säcke) heruntergleiten ließen, in derselben Weise, wie es bis vor kurzem nach am Erzberge in Steiermark der Fall war — Sackzüge —. Strabo kennt diese Art zu transportieren aus dem Kaukasus, aus Media Atropatene und vom Berge Masius.

Des Transportes auf Tieren soll hier nur beiläufig gedacht werden. Ferner sei anhangsweise erwähnt, daß man gelegentlich zum Fortschaffen schwerer Gegenstände auf ungünstigem Grunde künstliche Gleise anlegte. So berichtet E. v. Lasaulx (Untergang des Hellenisums, Münster, 1854, S. 47, nach anderen Quellen), daß Konstantin der Große, als er den aus Theben stammenden Obelisken von 100 Fuß Höhe von Rom von Konstantinopel bringen ließ, den Monolith am Sophientore auf einem mit Eisenschienen belegten Wege über das weiche Terrain habe transportieren lassen.

Daß man im alten Ägypten vor dem Aufbau der Pyramiden Pflasterstraßen anlegte, um die großen Bausteine besser fortbringen zu können, sei hier nur angedeutet.

g) Fahrung.

In den mäßig einfallenden Strecken dienten zur Fahrung, sobald die glatte Sohle nicht mehr den erforderlichen Halt bieten konnte, Treppenstufen, die im Sohlengestein ausgehauen waren; in den steilen Bauen fuhr man entweder auf Steigbäumen oder auf Leitern.

Die alten Japaner benutzten mit Kerben versehene Rundholzsteigbäume, deren Gestalt Fig. 36 (nach Netto [1]) zeigt.

In Minnesota fand sich in einer vorcolumbischen Indianergrube ein Baum, dessen Äste kurz abgehauen waren, als Steigbaum (Schmidt im Arch. f. Anthrop. XI, S. 65).

Auch in der Katalin-Monulestigrube bei Verespatak hat sich ein Steigbaum gefunden (Pošepný a. o. a. O.).

[1]) Über japanisches Berg- und Hüttenwesen. Mitteil. d. dtsch. Ges. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens. II. 1879, S. 367. Mit 2 Tafeln.

Die antiken Fahrten unterscheiden sich in nichts von den heute üblichen Formen; auf der in Fig. 37 dargestellten Reproduktion einer jener bei Korinth gefundenen Tontafeln, die sich heute zum größten Teile in Berlin, zum geringeren in Paris und London befinden, und von denen eine Auslese in dem vom Kgl. Archäol. Institute herausgegebenen Prachtwerke »Antike Denkmäler« enthalten ist, ist auf der linken Seite eine Leiter angedeutet.

Nicht selten, namentlich in römischen Gruben, hat man größere Abschnitte von Schächten voll-

Fig. 36.

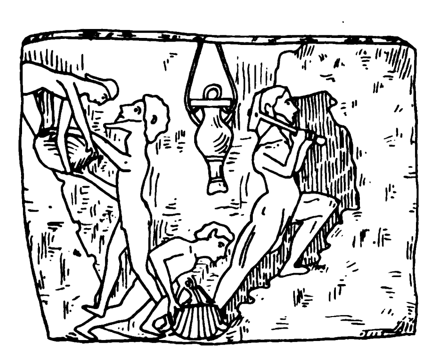


Fig. 37.

kommen ohne jede Spur von Ein- oder Ausbau gefunden. Dies geschah nur zu dem Zwecke, ein Entweichen der in den Bauen angelegten Sklaven zu verhindern. Bei einem feindlichen Überfalle entflohen dann vielleicht die Aufseher, unbekümmert um das Los der Sklaven.

h) Beleuchtung.

Zur Beleuchtung bediente man sich hölzerner Späne, bei Chinesen und Japanern solcher aus geklopftem Bambus, kleiner Reisigbündelchen, mit Tierfett getränkt oder mit fettgetränkten Fellstreifen umwunden, endlich auch tönerner oder metallener Öllampen. In den verschiedenen antiken Grubenbezirken sind viele der letzteren gefunden worden; sie sind bis auf eine oder zwei Öffnungen (zum Füllen und zum Dochtauslaß) ringsum geschlossen, im allgemeinen etwa 10 cm lang und etwa 7 cm im Lichten weit. In China und Japan benutzte man auch Schneckengehäuse, die mit Öl oder Fett gefüllt waren. Römische Grubenlampen zeigen die Figuren 38 und 39. Sie wurden entweder in Nischen des Stoßes aufgestellt oder aber vor der Stirn getragen (Diodor III, 12, 6). Letztere Art der Beleuchtung hat Veranlassung zu der Sage von den einäugigen Menschen (Arimaspuer bei

Herodot, Polyphem bei Homer usw.) gegeben. Größere Kammern hat man auch, nach dem eben erwähnten korinthischen Weihetäfelchen (siehe Fig. 37) zu schließen, durch von der Decke herabhängende Lampen beleuchtet. Als Leuchtmaterial diente wohl zumeist aus Pflanzen ausgepreßtes Öl. Ausdrücklich bezeugt dies Strabo (XVII, 321) von den Ägyptern; diese säten nach seinem Zeugnisse eine mit dem Namen Kiki belegte Frucht, deren Öl sich fast alle Landeseinwohner



Fig. 38. Fig. 39.

zum Brennen in den Lampen bedienten, das aber von den ärmeren Leuten auch zum Salben benutzt wurde.

Daß man gelegentlich auch Petroleum als Leuchtstoff benutzt habe, dürfen wir bei der allgemeinen Bekanntschaft des Altertums mit diesem Stoffe und seinen Verwandten ruhig annehmen; berichten doch z. B. Dioscorides (I, 99) und Plinius (XXXV, 51) von der Benutzung des als πίττασφαλτος, bitumen pissasphaltum, benannten Materials ausführlich. Übrigens scheint man nach den von Plinius über den bereits mehrfach zitierten spanischen Bruchbau beigebrachten Notizen in manchen Fällen die Arbeit im Finstern verrichtet zu haben (multisque mensibus non cernitur dies), wenigstens aber bei der von Hand zu Hand bewerkstelligten Haufwerksförderung.

i) Wetterversorgung.

Im allgemeinen waren die Vorkehrungen der Alten zur Wetterbeschaffung und Wetterverteilung in den Gruben ziemlich primitiv. Maschinelle Einrichtungen waren ihnen durchaus unbekannt, so daß man nur auf die natürliche Bewegung der Luft auf Grund von Temperatur- oder Höhenunterschieden angewiesen war.

Berücksichtigt man, daß sehr viele antike Gruben mehrere Dutzend Meter tief hinabgingen — die laurischen Gruben sind vielfach mehr als 50 m tief, im oberen Elsaß sind die Römerbaue bis auf 200 Toisen (flach gemessen), in Spanien nach Diodorus und Strabo bis auf viele Stadien flache Länge vorgedrungen; Gobet (I, p. 187) kennt aus Asturien und den Pyrenäen Römerbaue, die bis 1400 Fuß flachgemessene

Tiefe hatten; zu Wiesloch beläuft sich die Gesamtlänge aller unterirdischen Strecken auf mehrere Kilometer —, so begreift man, daß die Luft in der Grube recht wenig bewegt werden konnte, wenn man nicht durch eine große Anzahl von Schächten einen kurzen und einfachen Wetterweg schuf. Im laurischen Grubenbezirke scheint geradezu stets ein Zentralschacht einer Anzahl von um ihn liegenden Förderschächten als Wetterschacht gedient zu haben (Kordellas, Le Laurium S. 84, 85). Einzelne Förderschächte besaßen außerdem noch schmale Nebenschächte von 60—80 cm Weite als Luftschächte, ψυχαγώγια (vgl. Strabo III, 147); von den Römern werden diese als aestuaria bezeichnet.

Die Fahrbarkeit eines Schachtes prüfte man nach Plinius (hist. nat. XXXI, 28) durch Hinablassen einer brennenden Lampe: Experimentum periculi est demissa ardens lucerna, si extinguatur. Vor Ort suchte man den Wetterzug durch Schwingen von Leinentüchern zu verbessern (Plinius, l. c.: Fit . . . altitudine ipsa gravior aes, quem emendant assiduo linteorum jactatu eventilando: Die Luft wird mit der Tiefe schwerer; man verbessert sie durch dauerndes Schlagen mit Tüchern). Namentlich in den vom Feuersetzen erhitzen Bauen, in denen sehr viel »vapor et fumus« vorhanden war, wird man dieses Hilfsmittels nicht haben entraten können, um die ohnehin schon wenig beneidenswert gestaltete Arbeit nicht noch mehr zu erschweren. Daß man gelegentlich durch die primitiven Ventilationsmittel nicht viel erzielte, geht am schärfsten aus der von Strabo gegebenen Schilderung der kleinasiatischen Arsenikgruben von Sandaracurgium bei Pompejopolis (bei den heutigen Flüssen Kyzyl Irmak und Jeschil Irmak) hervor. (Strabo XII, 40, 841.) Hier war nicht nur die Arbeit sehr mühselig, sondern die Arbeiter »starben auch wie die Fliegen dahin, vor den aus dem Gebirge aufsteigenden Dünsten«.

Es waren dort mehr als 200 Arbeiter angelegt, die aber binnen kurzem immer wieder durch neue ersetzt werden mußten.

Allerdings mag diese Grube auch wohl einzig hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Verhältnisse dagestanden haben; denn man wußte den Vorzug eines guten Wetterwechsels sehr wohl zu würdigen und erkaufte ihn unter Umständen selbst mit der Herstellung eines zweiten Schachtes, wie Vitruv (VIII, c. 7) angibt. Es heißt hier: »Beim Brunnengraben strömen die giftigen Dünste hervor und belästigen die Arbeiter, die, wenn sie nicht schnell flüchten, ihnen erliegen. Man läßt zum Erkennen der schlechten Wetter eine brennende Lampe in den Schacht, der, wenn die Lampe brennend bleibt, ohne Gefahr befahren werden kann. Verlöscht aber das Licht, so gräbt man einen zweiten Schacht, mit dem man den Dunst verjagt.« Nach dieser Schilderung

zurückgeblieben. Fig. 27 ist ein Kern aus Alabaster, gefunden in Kem Ahmar.

Das engste im Granit hergestellte Bohrloch hatte nach Fauck (a. a. O. S. 7) einen Durchmesser von 50 mm; die noch engeren Bohrlöcher standen im Kalk oder Alabaster an. Eigentümlich ist, daß die Kerne sich nach oben verjüngen, während die Bohrzylinder nach oben weiter werden. Dieser Umstand mag wohl darauf deuten, daß man keine sorgsame und fließende Wasserspülung benützt hat. Nach diesen Funden kann man sich den Kernbohrer als Bronzerohr mit eingesetzten Diamanten vorstellen. Die Rohre waren 1/4—5 Zoll (außen) weit und 1/30—1/5 Zoll stark. Daß man im Altertume zum Steingravieren wahre Diamanten kannte, beweist die Äußerung des Plinius (Hist. nat. XXXVII, 5. 15), daß »die Steinschneider die Diamantsplitter in Eisen fassen und ohne Schwierigkeit damit in jeden anderen Stoff graben«. Daß man Bronzerohre zum Einsetzen der Bohrdiamanten benützte, beweisen die nach Flinders Petrie in den Bohrlöchern gefundenen grün überzogenen Sandkörnchen, sowie der grüne Anlauf der Bohrlochwandungen, der außerdem die Verwendung einer geringen Wasserspülung ersichtlich macht.

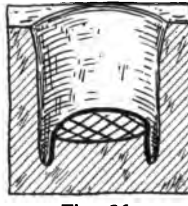


Fig. 26.

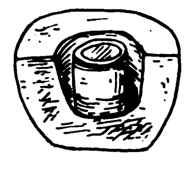


Fig. 27.

Angewendet wurden solche Gesteinsbohrarbeiten auch dann, wenn mehrere Säulenstümpfe aufeinanderzusetzen waren, um eine große Säule daraus herzustellen. Man füllte dann die in der Achse jedes Stumpfes je zur Hälfte hergestellte Bohrung mit einem passenden Verbindungsbolzen aus, den man in der unteren Säulenpartie verbleite oder sonst befestigte. In größtem Maßstabe kann man dagegen die genannten Arbeiten im Innern der auf anstehendem Fels aufgerichteten großen Pyramide von Gizeh sehen. In El Birscheh sieht man nach Flinders Petrie die Spuren von 18 Zoll tiefen Bohrungen, mit Hilfe deren man eine Kalksteinplattform abgetragen hat.

Sehr überraschend ist die Größe des aufgewendeten Druckes; bei den 4 Zoll weiten Bohrungen nimmt Flinders Petrie einen Minimaldruck von 1—2 t im Granit an. An dem in der ersten Figur wiedergegebenen Granitkern sinkt die Spirale des Schnittes im Umfange von 6 Zoll um 0,1 Zoll, d. h. 1 : 60, eine für Granit ganz staunenerregende Leistung verratend.

Während die im vorstehenden geschilderte Hereintreibe- und Gesteinsbohrtechnik verhältnismäßig jungen Perioden angehört, ist die Arbeit mit Schlägel und Spitzkeil eine der ältesten bergmännischen

Handarbeiten, deren Gebrauch sich bis in die Zeit der ausschließlichen Benutzung des Steins verfolgen läßt. Harte Knochen- oder Geweihstücke, daneben lange und kantige Steine mußten als Keile dienen, dazu bildete ein größerer rundlicher Stein, in der Faust geführt, die Urform des Hammers. Solche helmlosen Hämmer sind bis zum Gewichte von 9,5 kg (Baue von El Aramo) gefunden worden. Die Herstellung zweckdienlicherer Werkzeuge führte später zum Zurechtschlagen des natürlichen Steines. Als Material für die Hämmer wurde, da es hierbei auf ziemlich bedeutende Festigkeit ankommt, neben den hornblendehaltigen Gesteinen Diorit, Gabbro und Serpentin namentlich die zähen Materialien Nephrit, Jadeit und die mit ihnen verwandten Mineralien Saussurit und Chloromelanit benutzt. Auch Süßwasserquarz und Kieselschiefer, sowie dichte Lava kommen als Material zu Hämmern vor.

Wo derartiges Gestein in größerer Menge und besonders geeigneter Qualität zu finden war, da entstanden förmliche Bergbaubetriebe auf dasselbe, an welche sich Werkstätten für die Herstellung von Geräten und Werkzeuge anschlossen, wo das Material für den oft weit ausgreifenden Tauschverkehr bearbeitet wurde. Derartige Werkstätten haben z. B. in der Umgegend von Mons in Belgien (Glückauf, Essen, 1894, S. 1323), bei Kent (Globus 1900, S. 200), bei Syrakus bestanden. Aus Asien sind Nephritsteinbrüche am Karakusch durch A. v. Schlagintweit bekannt geworden (Globus 1900, Nr. 19), auch bei Khotan; ferner sind am Baikalsee Nephritwerkstätten gefunden worden. In Nordamerika haben bei Seneca, Missouri (Globus 1895, Nr. 147) und an der Mündung des Ontonagonflusses in den Oberen See (Glückauf 1879, Nr. 58) solche Steinwerkstätten bestanden, ebenso wie bei Pachuca in Mexiko.

Um dem Schlage eine größere Wucht zu geben, andererseits wohl auch um einer schnellen Ermüdung in etwa vorzubeugen, wurden mit der fortschreitenden Entwicklung der Bergtechnik die Steinhämmer behelmt. Die Art der Befestigung hat im Laufe der Zeit wesentliche Wandlungen erfahren. Die Stiele schwererer Fäustel wurden aus einer Rute gebildet, die zusammengebogen und dann mittels Riemen in einer um den Stein herumlaufenden, eingeschlagenen Rinne befestigt wurde, so daß also ein zweifacher Stiel entstand. Hierbei drehte man die Weide an der Stelle der stärksten Krümmung auf, analog wie das heute auch noch die Korbflechter zu tun pflegen. Solche Fäustel sind aus vielen antiken Bergbauen bekannt geworden, die Behelmung ist aber nur selten konserviert geblieben; von den Tschudengruben am Altai beschreibt sie Pallas (Reisen d. versch. Prov. d. russ. Reiches, 1771—76, Bd. II, S. 592 ff.) und nach ihm Hellwaldt (Zentralasien,

zurückgeblieben. Fig. 27 ist ein Kern aus Alabaster, gefunden in Kem Ahmar.

Das engste im Granit hergestellte Bohrloch hatte nach Fauck (a. a. O. S. 7) einen Durchmesser von 50 mm; die noch engeren Bohrlöcher standen im Kalk oder Alabaster an. Eigentümlich ist, daß die Kerne sich nach oben verjüngen, während die Bohrzylinder nach oben weiter werden. Dieser Umstand mag wohl darauf deuten, daß man keine sorgsame und fließende Wasserspülung benützt hat. Nach diesen Funden kann man sich den Kernbohrer als Bronzerohr mit eingesetzten Diamanten vorstellen. Die Rohre waren $^1/_4$—5 Zoll (außen) weit und $^1/_{30}$—$^1/_5$ Zoll stark. Daß man im Altertume zum Steingravieren wahre Diamanten kannte, beweist die Äußerung des Plinius (Hist. nat. XXXVII, 5. 15), daß »die Steinschneider die Diamantsplitter in Eisen fassen und ohne Schwierigkeit damit in jeden anderen Stoff graben«. Daß man Bronzerohre zum Einsetzen der Bohrdiamanten benützte, beweisen die nach Flinders Petrie in den Bohrlöchern gefundenen grün überzogenen Sandkörnchen, sowie der grüne Anlauf der Bohrlochwandungen, der außerdem die Verwendung einer geringen Wasserspülung ersichtlich macht.

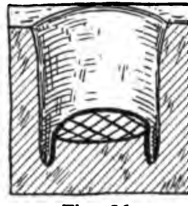


Fig. 26.

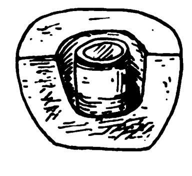


Fig. 27.

Angewendet wurden solche Gesteinsbohrarbeiten auch dann, wenn mehrere Säulenstümpfe aufeinanderzusetzen waren, um eine große Säule daraus herzustellen. Man füllte dann die in der Achse jedes Stumpfes je zur Hälfte hergestellte Bohrung mit einem passenden Verbindungsbolzen aus, den man in der unteren Säulenpartie verbleite oder sonst befestigte. In größtem Maßstabe kann man dagegen die genannten Arbeiten im Innern der auf anstehendem Fels aufgerichteten großen Pyramide von Gizeh sehen. In El Birscheh sieht man nach Flinders Petrie die Spuren von 18 Zoll tiefen Bohrungen, mit Hilfe deren man eine Kalksteinplattform abgetragen hat.

Sehr überraschend ist die Größe des aufgewendeten Druckes; bei den 4 Zoll weiten Bohrungen nimmt Flinders Petrie einen Minimaldruck von 1—2 t im Granit an. An dem in der ersten Figur wiedergegebenen Granitkern sinkt die Spirale des Schnittes im Umfange von 6 Zoll um 0,1 Zoll, d. h. 1 : 60, eine für Granit ganz staunenerregende Leistung verratend.

Während die im vorstehenden geschilderte Hereintreibe- und Gesteinsbohrtechnik verhältnismäßig jungen Perioden angehört, ist die Arbeit mit Schlägel und Spitzkeil eine der ältesten bergmännischen

Handarbeiten, deren Gebrauch sich bis in die Zeit der ausschließlichen Benutzung des Steins verfolgen läßt. Harte Knochen- oder Geweihstücke, daneben lange und kantige Steine mußten als Keile dienen, dazu bildete ein größerer rundlicher Stein, in der Faust geführt, die Urform des Hammers. Solche helmlosen Hämmer sind bis zum Gewichte von 9,5 kg (Baue von El Aramo) gefunden worden. Die Herstellung zweckdienlicherer Werkzeuge führte später zum Zurechtschlagen des natürlichen Steines. Als Material für die Hämmer wurde, da es hierbei auf ziemlich bedeutende Festigkeit ankommt, neben den hornblendehaltigen Gesteinen Diorit, Gabbro und Serpentin namentlich die zähen Materialien Nephrit, Jadeit und die mit ihnen verwandten Mineralien Saussurit und Chloromelanit benutzt. Auch Süßwasserquarz und Kieselschiefer, sowie dichte Lava kommen als Material zu Hämmern vor.

Wo derartiges Gestein in größerer Menge und besonders geeigneter Qualität zu finden war, da entstanden förmliche Bergbaubetriebe auf dasselbe, an welche sich Werkstätten für die Herstellung von Geräten und Werkzeuge anschlossen, wo das Material für den oft weit ausgreifenden Tauschverkehr bearbeitet wurde. Derartige Werkstätten haben z. B. in der Umgegend von Mons in Belgien (Glückauf, Essen, 1894, S. 1323), bei Kent (Globus 1900, S. 200), bei Syrakus bestanden. Aus Asien sind Nephritsteinbrüche am Karakusch durch A. v. Schlagintweit bekannt geworden (Globus 1900, Nr. 19), auch bei Khotan; ferner sind am Baikalsee Nephritwerkstätten gefunden worden. In Nordamerika haben bei Seneca, Missouri (Globus 1895, Nr. 147) und an der Mündung des Ontonagonflusses in den Oberen See (Glückauf 1879, Nr. 58) solche Steinwerkstätten bestanden, ebenso wie bei Pachuca in Mexiko.

Um dem Schlage eine größere Wucht zu geben, andererseits wohl auch um einer schnellen Ermüdung in etwa vorzubeugen, wurden mit der fortschreitenden Entwicklung der Bergtechnik die Steinhämmer behelmt. Die Art der Befestigung hat im Laufe der Zeit wesentliche Wandlungen erfahren. Die Stiele schwererer Fäustel wurden aus einer Rute gebildet, die zusammengebogen und dann mittels Riemen in einer um den Stein herumlaufenden, eingeschlagenen Rinne befestigt wurde, so daß also ein zweifacher Stiel entstand. Hierbei drehte man die Weide an der Stelle der stärksten Krümmung auf, analog wie das heute auch noch die Korbflechter zu tun pflegen. Solche Fäustel sind aus vielen antiken Bergbauen bekannt geworden, die Behelmung ist aber nur selten konserviert geblieben; von den Tschudengruben am Altai beschreibt sie Pallas (Reisen d. versch. Prov. d. russ. Reiches, 1771—76, Bd. II, S. 592 ff.) und nach ihm Hellwaldt (Zentralasien,

S. 81); vom Mitterberg beschreibt sie Much (Das vorgeschichtliche Kupferbergwerk auf dem Mitterberge, Wien 1879, S. 14). Je ein Exemplar aus den Kupfergruben von El Aramo und aus Rio Tinto zeigen die Figuren 28 und 29 (nach Treptow, Mineralbenutzung in

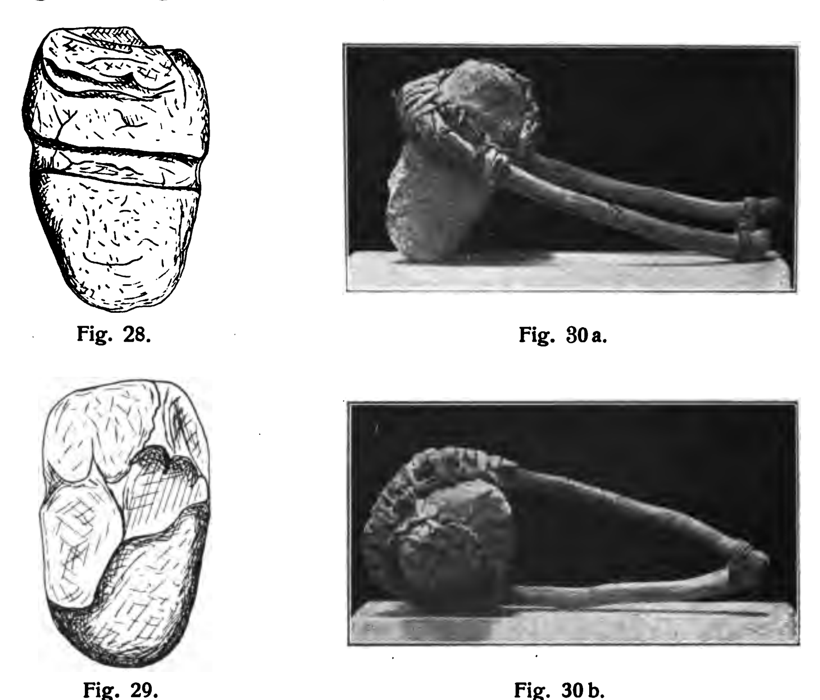


Fig. 28. Fig. 30a.

Fig. 29. Fig. 30b.

vor- und frühgeschichtlicher Zeit, Freiberg 1901, Craz & Gerlach, S. 16). Die Originale besitzt die Bergakademie Freiberg. Ein mit Behelmung erhaltenes Exemplar aus Chile — Chuquiquamata; Original gleichfalls in Freiberg — ist in den beiden Figuren 30a und b dargestellt. Vom Oberen See sind sie bis zum Gewicht von 18 kg bekannt geworden (Treptow, Mineralbenutzung, S. 17).

Fig. 31.

Später wurden die Fäustel zur Aufnahme des Stieles durchbohrt. Sie kommen erst gegen Ende der Steinzeit auf, wenn sie nicht gar unter dem Einflusse metallener Vorbilder entstanden sind, analog, wie die Bestielung der Steinhämmer in der oben angegebenen Weise die Metalläxte ihrerseits insofern beeinflußt hat, als auch diese zuerst ohne Lochung benutzt, vielmehr durch Einstecken in das eine gespaltene Ende eines krummgewachsenen Astes geschäftet und dann durch Umbinden mit Schnüren festgehalten wurden (vgl. hierzu Fig. 31). Die

durchbohrten Steinhämmer tragen das Schaftloch meist etwas nach dem Rücken zu gelegen, so daß nur einseitig benutzbare Geräte entstehen. Nach den auf uns gekommenen unvollendeten Stücken und zahlreichen Bohrkernen zu schließen, geschah die Durchbohrung mit Hilfe eines hohlen Zylinders aus Horn- oder Knochensubstanz, während das eigentliche Agens feuchter und scharfer Sand war, den man während des — etwa durch Bogen und Sehne bewirkten — abwechselnden Hin- und Herdrehens zwischen den Bohrer und das entstehende Bohrloch streute.

Der bekannte österreichische Altertumsforscher Graf Wurmbrand hat seinerzeit aus zwei vertikalen Ästen, einem zur Aufnahme der Bohrvorrichtung gelochten Querast aus Hirschhorn und einer in einem vertikalen Stab verschnürten Geweihendsprosse als Bohrer, einen Apparat zusammengestellt, wie er wohl zur Ausführung dieser Bohrarbeiten gedient haben kann. Schon 1875 erbrachte Wurmbrand damit durch wiederholte Bohrungen in Serpentin und anderen Gesteinen den Nachweis der Möglichkeit der Durchbohrung von Steinsachen ohne Anwendung von Metall [1]).

Ebenso wie die Steinfäustel durch das ganze Altertum hindurch eine überraschende Formenkonstanz aufweisen, finden sich auch die metallenen Schlägel in denselben Gestalten bei Japanern, Chinesen, Ägyptern, Tschuden, Kelten, Griechen, Römern und Germanen. Sie bestehen aus Eisen, Stahl oder Bronze, bei den Tschuden aus Kupfer, und weichen in ihren Grundformen kaum von den heutigen Hammermodellen ab. Entweder sind sie beiderseits flach und dann durchweg vierkantig, sowie mit einem meist runden Stielloche versehen, so daß sie von beiden Seiten zum Treiben des Keiles oder zum Zerschlagen gebraucht werden können, oder sie sind nur auf einer Seite platt, auf der anderen aber in einer stumpfen Spitze ausgezogen, so daß sie einerseits zum Antreiben des Keiles, andererseits zum Spalten Anwendung finden können. Fig. 32 zeigt einen laurischen Berghammer, τυπίς, nach Ardaillon, Les mines du Laurion dans l'antiquité, Paris, Fontemoing, 1897, S. 21. Ein analoger Hammer ist in der alten Grube von la Baume bei Villefranche (Aveyron) gefunden worden (s. Daubrée, Revue archéol. 1881, p. 207, Fig. 5).

Fig. 32.

Im Steinbruchsbetriebe wandten die Alten glatte und gezahnte Sägen, Feilen und Steinmeißel an. Als eigentliches

[1]) Nicht unerwähnt soll bleiben, daß die Römer die steinernen Geräte als vom Himmel gefallen ansahen und sie selbst nicht zum Arbeiten benutzten, sondern mit abergläubischer Verehrung behandelten und bei Opfern und anderen religiösen Handlungen gebrauchten.

Agens benutzte man Sand beim Sägen; als die besten Sorten nennt Plinius (Hist. nat. XXXVI, 9) den »aus dem Mohrenlande und den aus Indien«[1]).

Zum Antriebe der Steinsägen — Plinius kennt sie (Hist. nat. XXXVI, 44: In Belgica provincia serra lapidem secant) aus dem belgischen Gallien — wandte man im 4. Jahrhundert Wasserkraft an; in dem Moselliede des Ausonius, in dem der Gelbis (Kyll) und der »marmore clarus Erubrus«, der durch »Marmor« (hier ist aber »Schiefer« zu lesen) berühmte Ruver gepriesen werden, heißt es unter anderem:

> »Weit ist Gelbis bekannt durch edle Fische, doch an jenem,
> Wo der Ceres Gestein in unaufhörlichem Schwung sich
> Dreht und die knarrende Säge den glatten Marmor zerteilet,
> Hört man beiden Ufern entlang anhaltend Getöse.«

Neben der Gesteinsarbeit mit dem Eisen ist die Hereingewinnung mittels Feuersetzens uralt. In den prähistorischen Gruben am Mitterberge und am Altai gleich wie in den ägyptischen Gruben, bei der Schmirgelgewinnung auf Naxos, in allen alten Römerbauen, in Frankreich, England, Ungarn, findet man durch Feuersetzen aufgefahrene Strecken, die sich zum Unterschiede von mit dem Gezähe vorgetriebenen Bauen durch einen hohen, in der Firste spitzbogenartig gestalteten Querschnitt, eine Folge der nach oben intensiver zur Geltung kommenden Flamme, auszeichnen.

Auch den Juden war das Feuersetzen bekannt, wie aus Jeremias 23, v. 29, am besten aber aus Hiob 28, v. 5, zu schließen ist. Dort heißt es: Ist nicht mein Wort wie Feuer (spricht der Herr) und wie ein Hammer, damit man die Berge einwirft? Hier aber: Ein Erdreich, darauf Speise wächst, wird unten umgewühlt vom Feuer (Vulgata: Terra, de qua oriebatur panis in suo loco, igni subversa est). Im laurischen Gebiete hat man dagegen aus mehreren Gründen kein Feuersetzen angewendet; zunächst wegen des permanenten Holzmangels, der die Griechen sogar zur Seeeinfuhr von Brennholz zum Gebrauch in den Schmelzstätten zwang, dann aber auch wegen der minder großen Gesteinshärte, welche bei einer Arbeit mit dem Eisen noch gute Resultate erzielen ließ.

---

[1]) Steinsägen sind auch von den oben bereits genannten Mediomatrikern am Odilienberge angewandt worden, woselbst gewisse, von altersher bekannte Einschnitte im anstehenden Gestein nicht, wie man früher annahm, Blutrinnen für heidnische Opfer gewesen, sondern eben dem mit Sand vorgenommenen Absägen der Blöcke ihre Entstehung verdanken (Köln. Ztg., 10. VIII. 1907).

Daß man tatsächlich nur die äußerst harten Gesteine mit Feuer angriff, erhellt u. a. aus Diodor (l. III, c. 6), wo es heißt: terram auro gravidam, ubi durissima est, igni subactam emolliunt et tum demum manuum opus adhibent; und Plinius sagt: occurrunt silices; hos igne et aceto rumpunt (Hist. nat. I, 33).

Außer aus tatsächlichen Funden kennen wir aus den alten Schriften eine Reihe von Gelegenheiten, wo man sich des Feuersetzens zur Gewinnung von Gestein bedient hat. So erzählt Cassius Dio (36, 8), daß die Mauern der böotischen Stadt Eleutherion mit Essig gesprengt worden seien. Hier könnte man allerdings, vorausgesetzt, die Mauern seien aus Kalksteinen aufgeführt gewesen, auch an eine langsame Lösung des Steinmaterials durch aufgegossenen [warmen?] Essig denken. Galenus berichtet (I, 22, 16), der Essig durchdringe Stein, Erz, Eisen, Blei gleich dem Feuer. Ähnliches sagt auch Plinius (Hist. nat. XXIII, 27) von dem Essig: Saxa rumpit infusum, quae non ruperit ignis antecedens.

Ein großartiges Beispiel von Feuersetzen finden wir endlich in der livianischen Erzählung von Hannibals Alpenübergang. Hierüber heißt es (Liv. XXI, 36 u. 37): Die Soldaten wurden beordert, einen Felsen zu ebnen, über den man unbedingt den Weg nehmen mußte; zu dem Zwecke wurden ringsum sehr große Bäume gefällt, und aus deren Ästen und Stämmen ein außerordentlich hoher Holzstoß erzeugt, den man bei einem mächtigen, die Verbreitung der Flamme begünstigenden Winde anzündete. Das durch den Brand glühend gemachte Gestein wurde durch aufgegossenen Essig mürbe gemacht, und durch das erhitzte und gebräch gewordene Gestein bahnte man mit eisernen Hauen einen Weg, der nicht nur den Lasttieren, sondern auch den Kriegselefanten einen bequemen Übergang ermöglichte.

Beiläufig erwähnt, mögen die Punier, wie auch Plinius zu tun scheint, dem Essig (oder Essigwasser, welches sie als Getränk in reichlicher Menge mit sich führten — posca —) eine besondere Wirkung beigemessen haben, sonst würden sie die heißen Felsen wohl mit dem reichlich vorhandenen Schnee resp. Schneewasser abgekühlt haben (Hoppe, Beitr. z. Gesch. d. Erfind., Heft I, 1889, Clausthal). Das Gestein riß man nach dem Erkalten mit Brecheisen herein oder trieb es mit Keilen ab; zum Anfassen noch heißer Brocken hatte man, wie aus einem 1903 bei Palazuelos bei Linares gefundenen Relief hervorgeht (Notiz Köln. Ztg., 6. Juni 1903), gelegentlich eiserne Zangen zur Hand.

Lange war ungewiß, ob den Amerikanern das Feuersetzen bekannt war. Namentlich hat man es den Kupferbergleuten des

Oberen Sees abgesprochen, da man sich mit der — angeblichen — Unbekanntschaft des Kupferschmelzens die Anwendung des Feuers zur Gesteinsgewinnung nicht hatte erklären können. Es sind jedoch nicht nur gegossene Geräte aus Kupfer gefunden worden, so z. B. eine Axt von der Form, wie sie in den mounds vorkommt, zu Auburn, Cayuga Cty, New-York (Squier, Oboriginal Monuments of the State of New-York, Washington 1849, S. 78), sondern man hat auch in den Gruben selbst Spuren des Feuersetzens entdeckt. Schmidt (Archiv für Anthropologie XI, S. 65 ff.), Rivot (Berg- und Hüttenmänn. Zeitung 1856, S. 326), Dieffenbach (ebenda 1858, S. 27) haben Mitteilung gemacht von in den Bauen gefundenen Haufen von Holzkohlen und Asche, die man nur als Reste von Feuersetzen denken kann. Nach Sir John Lubbocks »Prehistoric Times« (S. 219 ff.) brannten die Indianer Opferfeuer in vertieften Herdgruben von 5—8 Fuß Durchmesser und 10—20 Zoll Tiefe, in denen man außer Asche und Knochen viele Gegenstände des Gewerbefleißes findet, daher die Indianer leicht das Schmelzen von Kupfer lernen konnten.

In Peru finden sich (Ann. d. mines 1882, VIII. S., T. II, p. 571) sehr alte Steinbrüche auf dem Isthmus von Copacabana, die mit Feuersetzen getrieben wurden.

Als letzte der von den Alten ausgeübten Gewinnungsarbeiten sei das unserem »hydraulic mining« vollkommen entsprechende Verfahren der Hereingewinnung von Gestein durch strömendes Wasser hier erwähnt, von dem Plinius bei Gelegenheit des auf den nordwestspanischen Goldlagerstätten umgehenden riesigen Bruchbaues redet. Lassen wir dem Autor selbst das Wort: . . . »Meilenweit leitet man die Wasser über die Berge, dabei muß man das Gefälle bis zur Mündung möglichst stark nehmen, also das Wasser von den höchsten Gegenden herholen. Täler werden überbrückt und das Wasser darüber fortgeleitet. Wo zu steile, unzugängliche Felsen sind, werden sie zur Aufnahme der zum Kanalgerinne nötigen Balken und Bohlen ausgehöhlt. Die diese Arbeiten verrichtenden Leute hängen an Seilen, so daß sie von ferne nicht einmal wie ein Wild, sondern wie ein Vogel aussehen. Sie schweben in der Luft hin und her und zeichnen dem Kanal den Weg vor; ihre Hände räumen den Schutt und das Gerölle in Körben fort . . . An den obersten Abhängen der Berge legt man Teiche als Wasserreservoirs an, 200 Quadratfuß groß bei 10 Fuß Tiefe. An ihnen läßt man fünf je drei Quadratfuß große Auslauföffnungen. Sobald ein Reservoir voll ist, zieht man die Schützen und der Strom stürzt mit solcher Gewalt fort, daß er Felsen fortbewegt . . . Hierauf beginnt die Anreicherungsarbeit in der Ebene« usw.

e) Grubenausbau.

Betrachten wir nunmehr den Ausbau der Grubenräume und die Mittel zu ihrer Offenhaltung während des Betriebes. Wohlbekannt war sowohl den vorhistorischen Bergleuten, wie den Japanern, Chinesen, Nordamerikanern und den Ägyptern, den Griechen, Etruskern und Römern die Tatsache, daß die Form der Grubenräume von Einfluß auf deren Standhaftigkeit sei, deswegen finden wir ausnahmslos die Baue in der Firste gewölbeartig gehalten, so daß die Last des Hangenden vorwiegend auf die Stöße übertragen wird. Gangbergbaue und kleinere Weitungen finden sich fast ohne Ausnahme ohne eine Spur von Ausbau; in den größeren Weiten blieben Stützpfeiler stehen (μεσοχρίνεῖς, δρμοι, όμοερχεις, χίονες, fornices crebri montibus sustinendis), deren Aufrechterhaltung im laurischen Bergbaubezirke, wie bereits gesagt, durch Gesetz geboten war. Von einem Vergehen gegen dies Gesetz, von einem gewissen Diphilos begangen, kennen wir auch die Ahndung (aus Plutarchs Lycurg). Der Schuldige mußte den Giftbecher leeren und verlor seine ganze Habe im Betrage von 160 Talenten (fast $^{3}/_{4}$ Millionen Mark), die unter die Bürger verteilt wurden.

Die künstlichen Mittel zur Stützung des Hangenden bestehen in den Indianerbergbauen am Oberen See aus großen, oft weit hergeholten Steinen, aus denen regelrechte Pfeiler zusammengesetzt sind, je nach der im übrigen sehr wechselnden Höhe der Baue, sonst entweder aus Bergemauerungen, bei denen, wie in den etruskischen Betrieben, hinter einer Packung von groben Gesteinsstücken kleiner Schutt gefüllt wurde, oder aber aus Holzstempeln, bzw. Verbindungen von mehreren Hölzern. Holz ist als Material zum Grubenausbau während des ganzen Altertums immerhin recht selten; wohl deshalb, weil man es in der Hauptsache als Brennmaterial für die Feuersetzarbeit und die Schmelzhütten benützen mußte. Plinius erwähnt Holz als Ausbaumaterial bei seiner umständlichen Schilderung des spanischen Goldbergbaues: Tellus ligneis columnis suspenditur (Hist. nat. XXXIII, 4. 21 ff.). Einen Rest alter römischer Streckenzimmerung fand man in der Katalin-Monulestigrube im Letier Revier zu Verespatak (vgl. Pošepný, Röm. Schöpfrad in »Österr. Zeitschr.« 1877, S. 391, dgl. 1868, S. 153, 165). Die einzelnen Türstöcke standen unmittelbar aneinander; die Verbindung zwischen Stempel und Kappe geschah mittels langer am Stempel angeschnittener Zapfen, welche in Durchbrechungen der Kappe paßten. Ähnlichen Ausbau fand man in sardinischen Römergruben. Etwas hiervon abweichend sind die in den toskanischen Gruben von Selvena bei Sta. Fiora am Monte Amiata gefundenen römischen Türstöcke konstruiert

gewesen, von denen nebenstehende Fig. 33 (nach eigner Aufnahme des Verfassers) ein Bild gibt. Die Stempel sind unten zugespitzt und etwa 10 cm unter der oberen Endfläche von einem 3·5 qcm großen Loch durchbrochen, in welches die Zapfen der Rundholzkappe passen. Die Verbindung schützt mehr gegen seitlichen als gegen Firstendruck. An eben derselben Stelle fand sich auch eine größere Anzahl von Nadelholzzapfen, von denen zu vermuten ist, daß sie aus zur Verschalung hinter der Zimmerung benutzten Zweigen herstammen. Letztere sind vermodert, und nur die daranhängenden Früchte haben sich erhalten und erinnern an die »Nüsse« der Wetterauer Braunkohle, die sich ebenfalls ganz gut erhalten konnten, während die Struktur der dazu gehörenden Hölzer vollständig verloren ging.

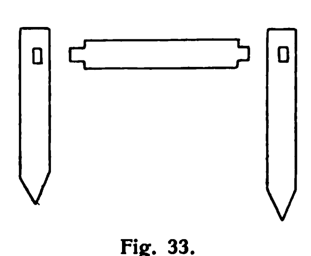


Fig. 33.

Schachtausbau findet sich nur sehr selten; wenn solcher vorhanden ist, so ist es trockene Mauerung aus groben Steinen, einige Meter von dem Mundloche an sich abwärts erstreckend. Sie diente dann zur Festhaltung der losen Schuttmassen, welche aus dem Abteufen des Schachtes gefallen waren, und welche man als Schachthalde aufgestürzt hatte. In einem von den Römern herrührenden Gesenk in der Bleierzlagerstätte des Tanzberges bei Keldenich, unweit Mechernich, fand sich ein Ausbau im ganzen Schrot, dessen einzelne Jöcher gleichfalls durch Verzapfung ineinandergefügt waren. Ähnlicher Brunnenausbau fand sich auf der Saalburg bei Homburg v. d. H.

f) Förderung.

Ebenso primitiv wie der Grubenausbau war auch die Förderung. Da in den weitaus allermeisten Fällen die Ausdehnung der metallführenden Lagerstätte das Maß für die Weite der Strecken und Baue war, so ist es erklärlich, daß die letzteren unregelmäßig sind; wer in einen solchen einfährt, kann nur gebückt oder kriechend, ja nicht selten nur auf allen Vieren voranfahren. Als Fördergefäße dienten Säcke, geflochtene oder aus Brettern zusammengesetzte Tröge, kleine Kesselchen aus Blech. Innerhalb der Strecken förderte man wohl meist durch Handreichung bis an die Mündung des Schachtes oder bis in eine größere Kammer, wo man eine Ausschlägelung vornahm. Danach füllte man das Gut in größere Gefäße, die dann entweder von Hand zu Hand durch die auf Spreizen sitzenden Sklaven herausgereicht wurden oder — in flachen Schächten — auf dem Rücken herausgetragen

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel lederne Säcke, für die man die Bezeichnungen σάκκος, σάκκιον, σάκτηρ, oftmals auch θύλακος findet. Die Arbeiter namte man θυλακοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐκφορεῖν, φορεῖν, θυλακοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλακοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάκοις περιφέροντες τὰ χώματα καὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐκαλουντο καὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34 a u. 34 b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken



Fig. 34 a. Fig. 34 b.

anliegende mit drei, das breitere der Außenseite mit sechs eingeflochtenen Riemen. Am Rande des Sackes ist das Leder 5 cm breit umgelegt und durch zwei eingeflochtene Riemen befestigt. An die Längsnähte des Sackes sind mittels Riemen zwei etwas gebogene, an mehreren Stellen zwecks Befestigung durchlochte Rippen aus Eschenholz befestigt, welche oben und unten etwas herausragen. Zum Tragen des Korbes dient ein 6 cm breites, 1,20 m langes Lederband, welches unten in 10 cm Höhe durch das Leder gezogen und dann beiderseits dreimal um die Rippen gewunden ist. Da dieser um die Brust und eine Schulter gelegte Riemen zum sicheren Tragen nicht ausreichte, so ist am oberen Sackrande eine 0,4 m lange Tannenholzhandhabe angebracht. An dieser konnte der Sack im Gleichgewichte gehalten werden, während einfaches Loslassen der Handhabe ein Umkippen und Rückwärtsentleeren alsbald zur Folge hatte.

Konnte man diese Säcke am besten in flachen Schächten zum Tragen anwenden, so mußte man, um größere Massen auf ziemlich ebener Sohle fortzuschaffen, Schlepptröge anwenden, die entweder geflochten oder aus Brettern zusammengesetzt sind.

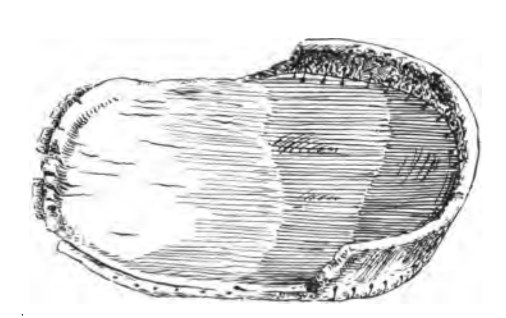


Fig. 35.

Ein zu El Aramo in Asturien gefundener Trog ist in Fig. 35 dargestellt (nach Treptows zit. Arb.). Er besteht aus einem ovalen Boden, an dem mittelst hölzerner Nägel ein niedriger Rand befestigt ist. Auch Reste eines Ledergriffes zum Schleppen finden sich daran.

Hinsichtlich des Massentransportes im Schachte kann man im Altertum zwei verschiedene Methoden unterscheiden. In vielen Fällen sind die Massen durch auf Spreizen sitzende Sklaven herausgereicht worden, in anderen muß man sich auch des Seiles in oder ohne Verbindung mit Haspeln bedient haben. Die Schächte der ersteren Art charakterisieren sich durch einander gegenüberstehende Gesteinslöcher, die den Sitzspreizen als Lager dienten und meistens in Entfernungen von nur 1,0—1,2 m übereinander ausgehauen sind. Bei Seilschächten fehlen indes diese Spuren; meist sind die Stöße ohne jedes Anzeichen eines Einbaus: in seltenen Fällen kann man die Einfuhren für die Wellen von Seilleitrollen bemerken, fast stets aber zeigt der obere Rand des Schachtes mehr oder weniger tiefe, vom Seil im Laufe der Zeit eingeschnittene Furchen. Man hat in solchen Fällen wohl Pferde oder

andere Tiere zum Seilziehen angewendet. In solchen Fällen hat man anscheinend manchmal Strecken- und Schachttransport miteinander in einer allerdings sehr primitiven Art vereinigt, indem man das zu fördernde Gut unmittelbar am Ort der Einfüllung in das Fördergefäß — Sack oder Trog — ans Seil schlug und dann zutage zog. Heute findet man diese Art der Förderung noch bei dem Herausbringen großer Basaltblöcke aus den unterirdischen Brüchen bei Mayen und Niedermendig, in einer Industrie, die überhaupt manche archaistische Formen bewahrt hat.

Die Ägypter wandten Seile aus Baumwolle, die Phönizier solche aus Flachs beim Bau der Brücke des Xerxes über den Hellespont in Verbindung mit Drehwinden an (Herodot VII, 36); aus dem Buche Hiob kennen wir Andeutungen über die Anwendung des Seiles (Kap. 28, Vers 4): »Gänge bricht man fern von den Angehörigen, von dem Fuß vergessen, hängen sie, fern von Menschen wanken sie.«

Nach Diodor (II, 2, 15) wurden zu Persepolis besondere Maschinen — Haspel — benutzt, um die Särge der Könige in die hoch im Felsen gehauenen Gräber zu schaffen.

Aus dem Bauwesen kennt Vitruv u. a. auch den Kreuzhaspel, sucula, den man mit Hilfe von vier Hebeln, rectis, bewegte, und es ist wohl anzunehmen, daß man diese Maschine, die genannter Autor (Arch. X, 8) in Verbindung mit Seil und fester Rolle geradezu als Fördermaschine bezeichnet, auch im Bergbau angewendet habe.

Schon die vorgeschichtlichen Bergleute in El Aramo und auf dem Mitterberge müssen den Haspel gekannt haben; denn am ersteren Orte zeigten mehrere gänzlich leere Schächte an den Stößen Seilspuren, und am Mitterberge fand sich (s. Much, Das vorgesch. Bergwerk, S. 13) ein Exemplar eines solchen in der halben Höhe eines Schachtes. Er lief mit seinen Achszapfen in zwei in den Felsen eingeklemmten Lagern aus Holz und zeigte noch deutlich die Treibspeichen.

In mehreren vorrömischen Schächten bei Agrigent fanden sich gleichfalls Spuren des Heraufziehens von Steinen an den Stößen (Holm, Gesch. Siziliens, I, S. 140), und in den alten Bleigruben Toskanas waren in den kaum $^1/_2$ m im Quadrat messenden Schächten (nach Haupt in Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1856, S. 88) etwa alle 10 m im Gestein die Löcher zu sehen, welche die Achsen der dem Seil als Führung dienenden Rollen getragen hatten.

Einen Kreuzhaspel fand Verfasser bei Selvena am Monte Amiata in — mutmaßlich — etruskischen Bauen. Die Treibspeichen waren tangential in trapezförmigen Einschnitten durch Keile befestigt.

Über Tage transportierte man Lasten nach der einen oder anderen der im folgenden angegebenen Methoden.

Zum Fortschaffen großer Steinblöcke bediente man sich hölzerner Walzen, die von Pollux als λιθουλκοί, von Plinius (Hist. nat. XXXV, 15) als extempores, von Paullus Silentiarius als δουρατέος κύλινδρος bezeichnet werden.

Auf den Gebirgshängen wurden die Lasten nach Strabo (XI, 43) in der Weise zu Tal geschafft, daß sich Schlepper und Last auf ledernen Schleppen (Felle, Säcke) heruntergleiten ließen, in derselben Weise, wie es bis vor kurzem nach am Erzberge in Steiermark der Fall war — Sackzüge —. Strabo kennt diese Art zu transportieren aus dem Kaukasus, aus Media Atropatene und vom Berge Masius.

Des Transportes auf Tieren soll hier nur beiläufig gedacht werden. Ferner sei anhangsweise erwähnt, daß man gelegentlich zum Fortschaffen schwerer Gegenstände auf ungünstigem Grunde künstliche Gleise anlegte. So berichtet E. v. Lasaulx (Untergang des Hellenisums, Münster, 1854, S. 47, nach anderen Quellen), daß Konstantin der Große, als er den aus Theben stammenden Obelisken von 100 Fuß Höhe von Rom von Konstantinopel bringen ließ, den Monolith am Sophientore auf einem mit Eisenschienen belegten Wege über das weiche Terrain habe transportieren lassen.

Daß man im alten Ägypten vor dem Aufbau der Pyramiden Pflasterstraßen anlegte, um die großen Bausteine besser fortbringen zu können, sei hier nur angedeutet.

g) Fahrung.

In den mäßig einfallenden Strecken dienten zur Fahrung, sobald die glatte Sohle nicht mehr den erforderlichen Halt bieten konnte, Treppenstufen, die im Sohlengestein ausgehauen waren; in den steilen Bauen fuhr man entweder auf Steigbäumen oder auf Leitern.

Die alten Japaner benutzten mit Kerben versehene Rundholzsteigbäume, deren Gestalt Fig. 36 (nach Netto [1]) zeigt.

In Minnesota fand sich in einer vorcolumbischen Indianergrube ein Baum, dessen Äste kurz abgehauen waren, als Steigbaum (Schmidt im Arch. f. Anthrop. XI, S. 65).

Auch in der Katalin-Monulestigrube bei Verespatak hat sich ein Steigbaum gefunden (Pošepný a. o. a. O.).

[1]) Über japanisches Berg- und Hüttenwesen. Mitteil. d. dtsch. Ges. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens. II. 1879, S. 367. Mit 2 Tafeln.

Die antiken Fahrten unterscheiden sich in nichts von den heute üblichen Formen; auf der in Fig. 37 dargestellten Reproduktion einer jener bei Korinth gefundenen Tontafeln, die sich heute zum größten Teile in Berlin, zum geringeren in Paris und London befinden, und von denen eine Auslese in dem vom Kgl. Archäol. Institute herausgegebenen Prachtwerke »Antike Denkmäler« enthalten ist, ist auf der linken Seite eine Leiter angedeutet.

Nicht selten, namentlich in römischen Gruben, hat man größere Abschnitte von Schächten voll-

Fig. 36.

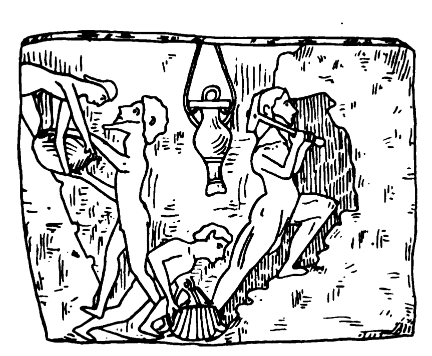


Fig. 37.

kommen ohne jede Spur von Ein- oder Ausbau gefunden. Dies geschah nur zu dem Zwecke, ein Entweichen der in den Bauen angelegten Sklaven zu verhindern. Bei einem feindlichen Überfalle entflohen dann vielleicht die Aufseher, unbekümmert um das Los der Sklaven.

h) Beleuchtung.

Zur Beleuchtung bediente man sich hölzerner Späne, bei Chinesen und Japanern solcher aus geklopftem Bambus, kleiner Reisigbündelchen, mit Tierfett getränkt oder mit fettgetränkten Fellstreifen umwunden, endlich auch tönerner oder metallener Öllampen. In den verschiedenen antiken Grubenbezirken sind viele der letzteren gefunden worden; sie sind bis auf eine oder zwei Öffnungen (zum Füllen und zum Dochtauslaß) ringsum geschlossen, im allgemeinen etwa 10 cm lang und etwa 7 cm im Lichten weit. In China und Japan benutzte man auch Schneckengehäuse, die mit Öl oder Fett gefüllt waren. Römische Grubenlampen zeigen die Figuren 38 und 39. Sie wurden entweder in Nischen des Stoßes aufgestellt oder aber vor der Stirn getragen (Diodor III, 12, 6). Letztere Art der Beleuchtung hat Veranlassung zu der Sage von den einäugigen Menschen (Arimaspuer bei

Herodot, Polyphem bei Homer usw.) gegeben. Größere Kammern hat man auch, nach dem eben erwähnten korinthischen Weihetäfelchen (siehe Fig. 37) zu schließen, durch von der Decke herabhängende Lampen beleuchtet. Als Leuchtmaterial diente wohl zumeist aus Pflanzen ausgepreßtes Öl. Ausdrücklich bezeugt dies Strabo (XVII, 321) von den Ägyptern; diese säten nach seinem Zeugnisse eine mit dem Namen Kiki belegte Frucht, deren Öl sich fast alle Landeseinwohner



Fig. 38. Fig. 39.

zum Brennen in den Lampen bedienten, das aber von den ärmeren Leuten auch zum Salben benutzt wurde.

Daß man gelegentlich auch Petroleum als Leuchtstoff benutzt habe, dürfen wir bei der allgemeinen Bekanntschaft des Altertums mit diesem Stoffe und seinen Verwandten ruhig annehmen; berichten doch z. B. Dioscorides (I, 99) und Plinius (XXXV, 51) von der Benutzung des als πίττασφαλτος, bitumen pissasphaltum, benannten Materials ausführlich. Übrigens scheint man nach den von Plinius über den bereits mehrfach zitierten spanischen Bruchbau beigebrachten Notizen in manchen Fällen die Arbeit im Finstern verrichtet zu haben (multisque mensibus non cernitur dies), wenigstens aber bei der von Hand zu Hand bewerkstelligten Haufwerksförderung.

i) Wetterversorgung.

Im allgemeinen waren die Vorkehrungen der Alten zur Wetterbeschaffung und Wetterverteilung in den Gruben ziemlich primitiv. Maschinelle Einrichtungen waren ihnen durchaus unbekannt, so daß man nur auf die natürliche Bewegung der Luft auf Grund von Temperatur- oder Höhenunterschieden angewiesen war.

Berücksichtigt man, daß sehr viele antike Gruben mehrere Dutzend Meter tief hinabgingen — die laurischen Gruben sind vielfach mehr als 50 m tief, im oberen Elsaß sind die Römerbaue bis auf 200 Toisen (flach gemessen), in Spanien nach Diodorus und Strabo bis auf viele Stadien flache Länge vorgedrungen; Gobet (I, p. 187) kennt aus Asturien und den Pyrenäen Römerbaue, die bis 1400 Fuß flachgemessene

Tiefe hatten; zu Wiesloch beläuft sich die Gesamtlänge aller unterirdischen Strecken auf mehrere Kilometer —, so begreift man, daß die Luft in der Grube recht wenig bewegt werden konnte, wenn man nicht durch eine große Anzahl von Schächten einen kurzen und einfachen Wetterweg schuf. Im laurischen Grubenbezirke scheint geradezu stets ein Zentralschacht einer Anzahl von um ihn liegenden Förderschächten als Wetterschacht gedient zu haben (Kordellas, Le Laurium S. 84, 85). Einzelne Förderschächte besaßen außerdem noch schmale Nebenschächte von 60—80 cm Weite als Luftschächte, ψυχαγώγια (vgl. Strabo III, 147); von den Römern werden diese als aestuaria bezeichnet.

Die Fahrbarkeit eines Schachtes prüfte man nach Plinius (hist. nat. XXXI, 28) durch Hinablassen einer brennenden Lampe: Experimentum periculi est demissa ardens lucerna, si extinguatur. Vor Ort suchte man den Wetterzug durch Schwingen von Leinentüchern zu verbessern (Plinius, l. c.: Fit . . . altitudine ipsa gravior aes, quem emendant assiduo linteorum jactatu eventilando: Die Luft wird mit der Tiefe schwerer; man verbessert sie durch dauerndes Schlagen mit Tüchern). Namentlich in den vom Feuersetzen erhitzen Bauen, in denen sehr viel »vapor et fumus« vorhanden war, wird man dieses Hilfsmittels nicht haben entraten können, um die ohnehin schon wenig beneidenswert gestaltete Arbeit nicht noch mehr zu erschweren. Daß man gelegentlich durch die primitiven Ventilationsmittel nicht viel erzielte, geht am schärfsten aus der von Strabo gegebenen Schilderung der kleinasiatischen Arsenikgruben von Sandaracurgium bei Pompejopolis (bei den heutigen Flüssen Kyzyl Irmak und Jeschil Irmak) hervor. (Strabo XII, 40, 841.) Hier war nicht nur die Arbeit sehr mühselig, sondern die Arbeiter »starben auch wie die Fliegen dahin, vor den aus dem Gebirge aufsteigenden Dünsten«.

Es waren dort mehr als 200 Arbeiter angelegt, die aber binnen kurzem immer wieder durch neue ersetzt werden mußten.

Allerdings mag diese Grube auch wohl einzig hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Verhältnisse dagestanden haben; denn man wußte den Vorzug eines guten Wetterwechsels sehr wohl zu würdigen und erkaufte ihn unter Umständen selbst mit der Herstellung eines zweiten Schachtes, wie Vitruv (VIII, c. 7) angibt. Es heißt hier: »Beim Brunnengraben strömen die giftigen Dünste hervor und belästigen die Arbeiter, die, wenn sie nicht schnell flüchten, ihnen erliegen. Man läßt zum Erkennen der schlechten Wetter eine brennende Lampe in den Schacht, der, wenn die Lampe brennend bleibt, ohne Gefahr befahren werden kann. Verlöscht aber das Licht, so gräbt man einen zweiten Schacht, mit dem man den Dunst verjagt.« Nach dieser Schilderung

scheint man sich allerdings erst dann zur Herstellung eines besonderen Ausziehschachtes entschlossen zu haben, wenn dem Vordringen in die Tiefe durch die »spiritus immanes« — matten Wetter — ein unbedingtes Ziel gesetzt wurde.

Nach Ardaillon (Les mines du Laurion, S. 50) hat man in den laurischen Schächten Wetterscheider angebracht, die aus Brettern mit einer Dichtung aus Lehm bestanden. Der Scheider ging nicht bis auf die Schachtsohle, sondern blieb 1—1,5 m von derselben entfernt. War der Schacht abgeteuft, so wurde der Wetterscheider entfernt. Das Vorhandensein solcher Verschläge zur Teilung des Wetterstromes und zur Erzielung eines Wetterumlaufes wird aus der Existenz von zwei schmalen und seichten Rinnen ersichtlich, die in manchen Schächten vertikal von oben nach unten laufen und den (horizontal eingelegten) Scheiderhölzern als Halt dienten.

Ob man in den Abbauräumen zur Verbesserung der Atmosphäre Räuchermittel anwandte, erscheint nicht ganz ungewiß; so legte Professor Curtius 1877 in einer Sitzung der Archäologischen Gesellschaft zu Berlin ein in den laurischen Gruben gefundenes schmuckloses Tongefäß in Gestalt eines Doppelbechers mit regelmäßig durchbrochenen Wänden vor, welches seiner Meinung gemäß zum Räuchern gedient hat.

Immerhin mag ein solches Mittel nur subsidiär angewendet worden sein; im allgemeinen schaffte man einen möglichst weitgehenden Wetterumlauf durch die heute als Parallelbetrieb bezeichnete Einrichtung, indem man, sobald nur irgend tunlich, mit jeder Strecke ein paralleles Begleitort trieb und beide möglichst oft durch Durchhiebe miteinander in Verbindung brachte. Aus dieser Praxis erklärt sich auch die außerordentliche Kompliziertheit antiker Grubengebäude, bei denen sich oft an unzähligen Stellen Streckenverzweigungen und -vereinigungen vorfinden. Hatte man bei weiterem Aushieb Gelegenheit, den Wetterweg abzukürzen, so versetzte man die sonst unnötigerweise den Wetterstrom zersplitternden Strecken mit Gesteinschutt, wie sich bei vielen laurischen Gruben gezeigt hat.

k) Wasserhaltung.

Einer der wichtigsten Betriebszweige des antiken Bergbaues, der oftmals eine bedeutende Anzahl von Arbeitern vom eigentlich produktiven Betriebe abzog, war die Wasserhaltung. In den meisten Fällen waren die Vorkehrungen zur Freihaltung flacher Gruben von Wasser wenig kunstvoll; so trug man vielfach das Wasser in Lederschläuchen oder Eimern aus der Grube. Bodenstücke solcher

Transportgefäße für Wasser hat man z. B. in den vorgeschichtlichen Bauen am Mitterberg in Salzburg in größerer Anzahl gefunden. Weil diese Art der Förderung aber bei geringer Höhe schon äußerst mühevoll und verlustreich wurde, benutzten die Ägypter bereits sehr frühe die als Schaduff, Kaduff, auch Picota bekannte, auch heute noch in Afrika angewandte, aus der Kombination von Hebel, Seil und Korb bestehende Maschine, von der die Fig. 40 eine Darstellung gibt. An dem auf hohem gabel- oder turmartigen Gestelle gelagerten Schwingbaume hängt an dem einen Ende eine Hängestange oder ein Seil mit Wasserkübel, am anderen Ende ist ein Gegengewicht angebracht. Dadurch, daß Männer auf dem Schwingbaume hin und her und über den Stützpunkt schritten, brachten sie die zum Wasserheben erforderliche schwingende Bewegung hervor.



Fig. 40.

Zum Ausheben von Standwassern auf eine geringe Höhe, etwa zum Sümpfen einer Grube in der Sohle eines Tagebaus, vielleicht auch zum Beaufschlagen von Aufbereitungsapparaten, hat das Altertum die einfache Wasserwippe gekannt, bestehend aus einem langen Hebel mit Kasten und Bodenventil am Ende. Eine solche Vorrichtung ist (nach Eng. a. Min. Journ. XXII, p. 607) in einer Zinnseife in Cornwall gefunden worden, die nach den Fundumständen sicher in das Altertum versetzt werden muß.

Daß die Ägypter, Assyrer und auch die Römer, die sich bei Ausführung ihrer Riesenbauten, außer der einfachen Vorrichtungen des Hebels, Keiles, der Walze, schiefen Ebene und des Seiles, doch auch bereits des aus Walze, Kurbel und Seil kombinierten Haspels bedienten, dieses Gerät auch zum Wasserheben aus Bergbauen benutzten, bezeugt uns Plinius (Hist. nat. XIX, 4); Vitruvius läßt es uns nur ahnen; er teilt nämlich mit, daß (ums Jahr 400 v. Chr.) Archytas von Tarent »hydraulische Maschinen« erfunden habe, doch sagt er nicht, welche; es ist zu vermuten, daß es ein Haspel gewesen sei, um in Eimern oder Schläuchen Wasser zu heben. Erwähnt wird diese Art von Maschinen mehrmals (L. I c. 1 u. l. 9 c. 3). In den alten Gruben

von Carthagena hat man mit Pech gedichtete Espartograskörbe zum Wasserheben am Seile gefunden (Rev. archéolog. 1868, S. 268).

Neben diesen einfachen Maschinen, von denen nur die zuletzt erwähnte imstande war, das Wasser auf bedeutendere Höhen zu wältigen, kamen im Altertum auch kompliziertere Wasserhebeapparate zur Anwendung, nämlich die Schneckenpumpe (cochlea), die Becherwerke oder Kannenkünste, die Wasserräder und die verschiedenen Arten von Saug- und Druckpumpen, unter denen namentlich die des nach Plinius (hist. nat. VII, 38) durch die Erfindung von Luft- und Wasserdruckapparaten berühmten Ctesibius, der, ein Sohn eines Barbiers, zur Zeit des Ptolemäus Philadelphus lebte, unsere Aufmerksamkeit erregt.

Die Erfindung der Schneckenpumpe schreibt Diodor (I, 24; V, 37) dem Syrakusaner Archimedes zu; andere behaupten, ein Freund des Archimedes, Conon aus Samos, der lange zu Alexandrien lebte, habe sie erfunden. Wahrscheinlicher ist, daß Archimedes den Apparat bereits in Ägypten vorgefunden und in Griechenland allgemein bekannt gemacht hat. Vitruvius schildert ihre Herstellung folgendermaßen (vgl. l. X, 6): »Man nimmt einen Balken von so viel Zoll Dicke, als er Fuß Länge hat und schneidet ihn genau zylindrisch. Auf den Endkreisen bringt man nun Teilungen in vier bzw. acht Teile an, welche in ihren Teilungslinien genau korrespondieren; dann werden senkrecht zu den Grundflächen Linien von einem Stirnkreise zum anderen gezogen und auf ihnen Achtel jener Kreislinie aufgetragen. So entstehen auf dem Zylindermantel in der Quere und Höhe gleichgroße Räume. Auf den Längslinien sind nun in der Spirallinie umlaufend weitere Punkte bestimmt. Dann nimmt man eine dünne Rute aus Weide oder (wildem) Wein, taucht sie in flüssiges Pech und befestigt sie am ersten Punkte der rundumlaufenden Teillinie. Darauf legt man dieselbe schräg auf und führt sie über die einzelnen Schnittpunkte der Längs- und Querlinien, so daß das Ende wieder auf der gleichen Mantellinie wie der Anfang liegt. Genau ebenso werden über die anderen Teilungen hinweg ähnliche Ruten in der Spirallinie herumgelegt, so daß gleichsam Kanäle in genauer Nachbildung einer Schneckenschale entstehen. Über den vorhandenen Ruten werden dann noch andere festgemacht, die auch in flüssiges Pech getaucht sind, so lange, bis die gesamte Dicke dem achten Teile der Länge gleichkommt. Darüber werden nun Bretter befestigt, welche die Gewindegänge überdecken; diese werden ebenfalls mit Pech bestrichen und mit eisernen Bändern umgeben, damit nicht die Gewalt des Wassers sie losreiße. An den Stirnenden des Balkens werden eiserne Zapfen angebracht, rechts und links von der Schneckenwelle stellt man (Lager-)Balken auf, die oberhalb jederseits durch Querbalken

miteinander verbunden sind. In diesen befinden sich mit Eisen ausgelegte Öffnungen, um obige Zapfen aufzunehmen. Die Neigung der Achse der Schneckenwelle wird nun so bemessen, daß (von der durch den oberen und unteren Zapfen gelegten Lotrechten bzw. Horizontalen) ein pythagoreisches rechtwinkliges Dreieck gebildet wird. Wenn man nämlich die Balkenlänge in fünf Teile zerlegt, so erhebt man das eine Ende des Wellenstumpfes und drei Teile dieses Maßes. . . . . In Bewegung gesetzt wird die Schnecke dann durch Treten seitens einer Anzahl von Arbeitern.« Wegen der nur geringen Hubhöhe dieser Maschinen mußte man deren mehrere übereinander anordnen, wodurch man eine große Anzahl von Arbeitern nötig hatte, da man in der Grube nicht, wie vielfach über Tage, von Zugtieren betätigte Göpelwerke zum Umtreiben benutzen konnte.

Ebenfalls nur für geringe Hubhöhen verwendbar war die bei den Chinesen gebrauchte Kettenschaufelpumpe, welche an den Gelenken einer endlosen Kette Schaufeln besaß, die sich in einer schwach geneigten, ins Wasser eintauchenden Rinne nach oben bewegten und das Wasser in ein Sammelbecken hoben.

Weiter beschreibt Vitruvius ein Kettenbecherwerk (eine »Kannenkunst«) für viel größere Hubhöhen (l. X, c. 9) wie folgt: Soll das Wasser an bedeutend höhere Punkte geliefert werden, so schlingt man um die Welle eines Tretrades ein eisernes Kettenpaar (duplex ferrea catena), welches so eingerichtet ist, daß es bis unter den Wasserspiegel hinabreicht und angehängte Bronzeeimer trägt (habens situlos pendentes aereos congiales), die etwa einen congius — 1 congius = 6 sextarii = $^1/_8$ amphora, etwa 3,28 l — fassen. Dann wird die Drehung des Rades dadurch, daß die Doppelkette sich um die Welle herumlegt, die Eimer nach oben bringen, wobei sie, umgestürzt, ihren Wasserinhalt in einen Sammelkasten entleeren.

Außerdem bediente man sich seit uralter Zeit der Wasserräder zum Heben von Grubenwasser. In Mesopotamien und Ägypten dienten sie im Anfang zur Bewässerung der Ländereien, wurden dann aber auch beim Bergwesen benutzt[1]. Bemerkenswert sind einige Sätze aus Vitruvius ausführlicher Beschreibung der Herstellung: »Es wird dazu eine Achse entweder auf der Drehbank bearbeitet oder nach dem Zirkel behauen; an den beiden Enden werden Eisenbeschläge angebracht. Man zimmert rings um die Welle ein Rad und befestigt seitwärts herum kubische Kästchen, die mit Pech und Wachs gedichtet sind — modioli quadrati pice et cera solidati —. Wenn dann das Rad von

---

[1]) Erwähnt sei, daß das Schöpfrad ein symbolisches Zeichen hohepriesterlicher Würde bei den Juden war.

den Tretern bewegt wird, so werden die gefüllten Kästchen nach oben kommen, wo die sich in den Sammelkasten entleeren.« Diese Wasserräder hießen τύμπανον[1]). Beiläufig sei hier erwähnt, daß auch das Zahnradgetriebe und das (schräg oder vertikal stehende) zu beliebigem Zwecke angewendete Tretrad denselben Namen führten, der ursprünglich eine Pauke sowie ähnliche Schlaginstrumente bedeutet, dann aber auf ähnlich gestaltete Apparate übertragen wurde.

Ein anderes »Tympanon« der Alten bestand aus einer um eine horizontale hohle Achse drehbaren Zylindertrommel, welche durch Längsscheidewände in mehrere Abteilungen geteilt war und gewissermaßen als ein Schöpfrad mit bis zur Achse sich erstreckenden Gefäßen aufzufassen ist. Das Wasser tritt an dem unteren eingetauchten Teile des Trommelmantels ein, wird im Laufe der Drehung des Tympanon etwa bis auf die Höhe der Achse gehoben, fließt dann auf den Scheidewänden wie auf schiefen Ebenen der hohlen Achse zu und verläßt hier den Apparat.

Von Wasserrädern, welche den in unseren Tagen wieder zur Wasserhebung gebauten Rädern analog konstruiert sind, hat man Exemplare in Gruben von San Domingos und von Verespatak gefunden, die von Pošepný beschrieben worden sind (»Österr. Zeitschr.« 1868 und 1877). Das zu Verespatak in Fragmenten gefundene Rad, von welchem nebenstehend ein Bild gegeben wird (Fig. 41), hatte 24 Schaufeln; jede Schaufel bestand aus einem am äußeren Rande etwa 25 mm, am Zapfen etwa 38 mm starken, rund 160 mm breiten Buchenholzbrette. 25 bzw. 175 mm vom äußeren Kranzende enthielt das Schaufelblatt 12 mm breite und 6 mm tiefe, mit der Säge ausgearbeitete Rinnen; an den Schaufelseiten waren je drei kantige, 2 Zoll tiefe Nagellöcher vorhanden. Der im ganzen 1,46 bis 1,48 m lange Schaufelarm war am Zapfen 70—75 mm dick, am unteren Schaufelende aber 55 mm. Die Seitenabgrenzung der Schaufeln wurde durch zwei $^1/_3$—$^1/_2$ Zoll starke Buchenbretter in

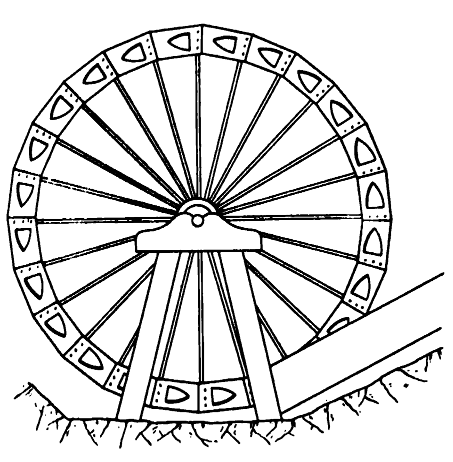
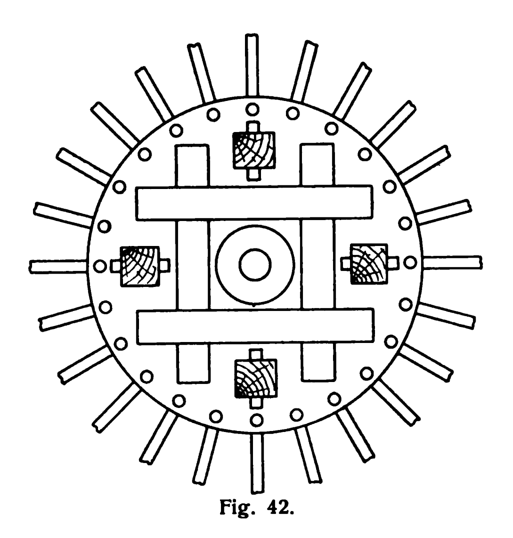


Fig. 41.

[1]) Gebräuchlichere Form statt τύπανον von τύπτω.

Bogenform, die mittels Überblattung aufeinandergepaßt und zusammengenagelt waren, gebildet. Diese Brettchen hatten jederseits einen dreieckigen Ausschnitt. Den äußeren und inneren Kammerboden bilden zwei in die Schaufelblattrinnen eingelegte Buchenbretter von 0,5—0,6 Zoll Dicke. Die Radwelle war 1 m lang, in der Mitte zirka 30, am hölzernen Zapfen zirka 12,5 cm stark; der Zapfen selbst war bei 12,5 cm Länge nur 5 cm stark; die Schaufelstiele saßen mit etwa 2,5 cm Fleischzwischenraum in der Welle, die in ihren Zapfen durch zwei dreiseitig behauene auf divergierenden Stützen gelagerte Balken unterstützt wurde. Das insgesamt 100 kg schwere, mit Ausnahme der Nägel gänzlich aus Holz konstruierte Rad hatte einen Durchmesser von etwa $3^1/_3$ m; es stand etwa 1 m unter der Sohle der zunächst liegenden Strecke. Ein Ausflußgerinne wurde nicht mehr vorgefunden. Bewegt wurde das Rad ausschließlich durch die Kraft der Arbeiter.

Das Modell eines Heberades aus der Kupfergrube San Domingos, in der Nähe des Zusammenflusses des Chança und Guadiana, war nach Pošepný auf der Weltausstellung in Philadelphia rekonstruiert ausgestellt. Im großen und ganzen war die Konstruktion der in den spanischen Römerbauten gefundenen Heberäder — es sind im ganzen acht große von je 4,875 m Durchmesser und zwei kleinere von je 3,66 m Durchmesser gefunden worden — der des Verespataker Rades ähnlich, nur waren die Stiele der 24 Schaufeln aus zwei Sparren gebildet, die nach Fig. 42 mittels Quernägel an zwei auf der Achse befestigten hölzernen Scheiben angebracht waren. Die zum Wasserableiten vorhandene Rinne lag etwa $3^3/_4$ m über dem Wasserspiegel des Zuführungsbaues so daß der Effekt der Hebung nur etwa 76 % des theoretisch möglichen betragen konnte. Auch in Tharsis, Rio-Tinto und im alten Mann des Michaeliganges unter dem (römischen) Annastollen in Ruda (Siebenbürgen) hat man solche Heberäder gefunden, die alle dem ersten bis vierten nachchristlichen Jahrhundert angehören.


Fig. 42.

Ebensolche Räder benutzte man etwa seit dem ersten vorchristlichen

Anfänglich füllt man das Öfchen nur mit Holzkohlen allein, bis es ordentlich abgewärmt ist. Ist alles gehörig trocken, so wird die Brust geschlossen und die Röhre eingelegt, und dann beginnt man mit dem Aufgeben der gröblich zerkleinerten Eisenerze, welche sehr reine Magneteisenerze sind. Das Gebläse wird in Gang gesetzt, und handvollweise gibt man die Erze auf, ungefähr im Verhältnisse zu den nußgroßen Holzkohlen wie 1 : 10. Die Erze werden übrigens ohne jeden Zusatz aufgegeben. Nach einiger Zeit fließt durch die Seitenöffnungen, welche der Eisenmacher sorgfältig offen erhält, eine schwarze, sammetartige Schlacke ab, die leichtflüssig und sehr eisenreich ist. Nach 6—8 Stunden ist die ganze Schmelzkampagne beendet, und hat man während dieser Zeit dann $^3/_4$ Kubikfuß = 110—112 Pfund an Erzen aufgegeben, während der Kohlenverbrauch ungefähr $7^1/_2$ Kubikfuß beträgt. Zuletzt hatte man keine Erze mehr mitaufgegeben, sondern nur mehr Kohlen, und wenn nun alles niedergegangen ist, wird das Gebläse außer Arbeit gesetzt, die Ofenbrust aufgebrochen und der Eisenklumpen, der sich unten angesammelt hat, herausgenommen. Er besteht aus mit Schlacke noch sehr verunreinigtem Schmiedeeisen. Diese Luppe wird zerteilt und bei gewöhnlichen Schmiedefeuern wiederholt durchgearbeitet, um alle Schlacken zu entfernen. So erhält man zuletzt 20—22 Pfund trefflichen Eisens.

Zur Bedienung eines Öfchens sind zwei Arbeiter nötig: der Eisenmacher und der Balgtreter. In Singhbhum leben ganze Dörfer vom Eisenmachen, und in der Nähe eines Dorfes findet man oft lange Reihen von Öfchen auf einmal im Gange, wobei die Frauen dann meist das Balgtreten besorgen, die Männer die Öfen warten.

Bei dem eben beschriebenen rohen Verfahren, das überhaupt nur bei so prächtigen Erzen möglich ist, muß natürlich der Verlust an Eisen, sei es dadurch, daß es in die Schlacke geht, sei es durch den Abbrand beim späteren Bearbeiten, ein großer sein. Verschiedene Erzanalysen ergaben einen Eisengehalt der Erze von 65—70 % (genauer 69,2 Eisenoxyd, 29,5 Eisenoxydul), und müßten somit 110 Pfund aufgegebener Erze mindestens 71 Pfund Eisen geben; da nur 22 Pfund zuletzt erzeugt werden, so gehen an 70 % des Gehaltes als Abbrand und in den Schlacken verloren. Weitaus der größte Verlust findet beim eigentlichen Schmelzprozesse statt, indem die Luppe nur 35 Pfund wiegt, somit 48 % des Eisengehalts in die Schlacke gegangen sind. Würde man geeignete Zuschläge geben, so würde das Ergebnis ein günstigeres sein.

Ähnlich wird der Eisenhüttenprozeß auch in manchen anderen alten Industriezentren getrieben, so bei den Turkmenen in den Tälern

Philosophen, daß die Seele an den Freuden des Himmels teilnehmen solle, »wie durch einen sipho«; Theophrast erklärt durch den sipho das Aufsteigen des Marks in den Knochen und Columella das des Saftes in den Bäumen. Plinius erwähnt siphones (hist. nat. XIX, c. 4), mit welchen man Gärten bewässerte, und an anderer Stelle (hist. nat. XVI, c. 42) nennt er das Holz der Fichte, Tanne und Erle besonders gut zum Bau von Pumpen und Wasserleitungsröhren, die man durch Ausbohren der möglichst geraden Stämme herstellte. Es ist anzunehmen, daß solche Apparate, weil sie sehr gewöhnlich waren, auch in den Gruben zur Wasserhebung Anwendung fanden.

Auch die alten Japaner haben sich derselben bedient; nach Netto (a. a. O., II, S. 372, 1879) besteht die noch bis heute in unveränderter Form erhaltene Vorrichtung, von der Fig. 43 eine Darstellung gibt[1]), aus einem prismatischen, oben und unten offenen hölzernen Kasten von zirka $3^1/_2$ m Länge und etwa 12·12 qcm lichter Weite, in dessen unterem Teile ein sich nach innen öffnendes Klappenventil eingesetzt ist. In diesem allenthalben gedichteten Kasten wird ein entsprechend großer, mit Stroh und Leder gedichteter Kolben mittelst Kolbenstange unmittelbar von Hand bewegt. In flachen Schächten sind die von je ein Mann bedienten Pumpen untereinander eingebaut; die untere hebt in den Saugkasten der nächst oberen; die vertikale Hubhöhe beträgt etwa 1,2—1,9 m, der Kolbenweg etwa drei Fuß, die Menge des pro Hub gehobenen Wassers etwa 5 shio = 9 l.

Den Übergang von diesen Apparaten zu der dem Ctesibius zugeschriebenen, von Plinius (hist. nat. VII) und Vitruv (de arch. X, 7) erwähnten und mit einem Windkessel ausgerüsteten Pumpe bildet gewissermaßen die von Vegetius erwähnte Blasebalgpumpe, bei welcher behufs Vermeidung von Stößen in den Leitungen und zur Erzielung eines möglichst gleichmäßigen Wasserausflusses ein Ledersack mit einer abgeschlossenen Menge Luft in die Leitung eingeschaltet war. Auch sie paßte nur für geringe Höhen.

Für größere Höhen und Wassermengen war die angeblich um 150 v. Chr. von Ctesibius in Alexandria erfundene Druck- und Saugpumpe eingerichtet. Von ihr berichtet Vitruvius (l. X, c. 7) folgendes:

»Diese Maschine (Fig. 44) besteht aus Bronze und besitzt zwei gleichgebaute vertikale Pumpenzylinder, die nicht weit voneinander abstehen (*a*) und durch zwei sich mitten vereinigende Abzweigungen (*c*) in den Windkessel *d* einmünden. In dem Windkessel bringt man Ventilklappen (*e* — Druckventile —) an der oberen Mündung der

[1]) Fig. 43 b im $1^1/_2$fachen Maßstabe von Fig. 43 a und 43 c.

Verbindungsröhren an, welche genau anschließen und das, was der Luftdruck in den Windkessel gepreßt hat, nicht mehr zurücktreten lassen. Oben schließt sich an den Windkessel eine einem umgestülpten Trichter ähnliche Klappe an, die durch eine Art Klammer, deren Zusammenhalt ein Keil bewirkt, mit jenem zusammengeschlossen wird, damit nicht die Gewalt des Wassers sie aufzuheben vermag. Daran schließt sich die senkrecht in die Höhe führende sogen. Steigröhre an. In die Pumpenzylinder aber sind unter der Sohle der horizontalen Verbindungsrohre Ventile (*g*) auf die am unteren Ende angebrachten Saugrohre (*h*) aufgesetzt.

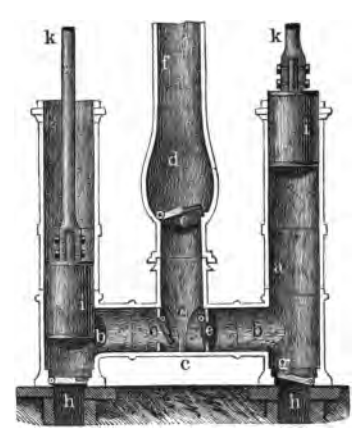


Fig. 44.

Werden nun von oben her die massiven, gedrehten und mit Öl geschmierten Kolben, die genau in die Pumpenzylinder passen, mittelst Kolbenstangen und Hebeln in Bewegung gesetzt, so drücken sie in beiden Zylindern abwechselnd auf die mit Wasser dort eingeschlossene Luft, schließen die Ventilklappen an den unteren Öffnungen (*g*) und drängen durch die Luftpressung das Wasser durch die Mündungen der Verbindungsröhren in den Windkessel, von welchem es in die Klappe steigt und durch den Luftdruck durch das Steigerohr in die Höhe getrieben wird.«

Eine solche Pumpe hat man (nach Beck, Geschichte des Eisens, I, S. 579) in den Ruinen von Castrum novum gefunden; bei ihr wird die Wirkung des Druckes und der Elastizität der Luft in ingeniöser Weise vereinigt zur Anwendung gebracht.

l) Tiefbohrwesen.

Äußerst wenig nur wissen wir von einer von den Alten nachgewiesenermaßen ausgeübten Industrie, die mit unserer T i e f b o h r u n g zur Erbohrung von Wasser, Sole oder Erdgas zu vergleichen wäre. Seit undenklichen Zeiten bilden die am Wüstensaume wohnenden A r a b e r Innungen für die Brunnenbohrkunst. Sie haben den sog. artesischen Brunnenbau von den Ä g y p t e r n gelernt, von denen bereits O l y m p i o d o r u s angibt, daß sie gebohrte Brunnen von 2—300, ja bis 500 Ellen Tiefe hätten, welche das Wasser über der Erdoberfläche ausgössen, wo man es als B e r i e s e l u n g s w a s s e r

für die Ländereien verwende. Die großen Oasen von Theben und Dachel sind fast siebartig mit Bohrbrunnen durchörtert, von denen viele im Laufe des verflossenen Jahrhunderts von neuem eröffnet worden sind. Auch die II. Mos. 17, 1—6 niedergelegte Erzählung von der »Tränkung Israels aus einem Felsen«, den Moses »mit dem Stabe schlug«, haben wir uns aller Wahrscheinlichkeit gemäß als eine Wasserbeschaffung aus einem Bohrbrunnen zu denken. Die Wüstenbrunnen der Araber sind etwa 30 m tief; in dieser Tiefe liegt eine ziemlich mächtige harte Kalksteinschicht, die mit einem einige Zoll weiten Loche durchstoßen wird, worauf aus der unteren wasserführenden Schicht ein Quell hervorspringt. Der Kunstfertigkeit der Wüstenanwohner scheint sich auch Alexander d. Gr. bedient zu haben; lesen wir doch bei Strabo (l. XV, c. 68) daß er, als er nach Gedrosien zog, vor sich her Bergleute in die Wüste sandte, welche Brunnen für das Heer graben mußten.

Auch die Sage von Herkules beschäftigt sich mit einer Tat, die man als Erschließung von artesischem Wasser deuten kann. Herkules kam danach einst an die Stelle, wo heute der Ciminische See liegt (beim Mte. Cimino, unweit von Vico in Mittelitalien), und als die Einwohner von ihm eine Kraftprobe forderten, stieß er eine Eisenstange so tief in den Erdboden, daß niemand dieselbe herauszuziehen vermochte. Dann trat er wieder hinzu und zog mit einem einzigen Ruck die Stange heraus, worauf aus der Öffnung so viel Wasser hervorquoll, daß daraus ein See entstand.

Seit mindestens 2000 Jahren ist auch in China die Bohrtechnik in Ausübung. Alles, was zum Bohrbetrieb nötig ist, z. B. den Bohrturm, die Gestänge, Futterröhren, selbst die Bohrer und die Fanggeräte, stellen die Chinesen aus Bambusrohr her. Als Motor benutzen sie Menschenkraft oder den Esel. Das Objekt, nach dem gebohrt wird, ist Sole, daneben wird das aus den Bohrungen gelegentlich ausströmende Gas zum Versieden der Sole mitgewonnen. Die Hauptindustrie auf Sole ist seit undenklicher Zeit auf die Provinz Se-chuen, der westlichsten an Tibet grenzenden Landschaft konzentriert. Die Technik des Bohrens ist folgende (nach dem Berichte des französischen Missionars M. L. Coldre (vgl. Tecklenburg, Handbuch der Tiefbohrkunde, 1893, V. Band, S. 206):

Bis aufs feste Gestein wird mit Spaten und Haue ein Vorschacht abgeteuft. Dann umrandet man das Mundloch mit Steinen, oder man setzt geradezu den Vorschacht mit durchbohrten Steinen aus, um die man gegebenenfalls noch Kleinschlag einbringt. Über dem Bohrloche wird dann in irgend einer Form ein Bohrturm mit einem Göpel und Getrieben zum Heben und Senken des Bohrgerätes, dessen Handhabung stets am Seil geschieht, gebaut.

Oberen Sees abgesprochen, da man sich mit der — angeblichen — Unbekanntschaft des Kupferschmelzens die Anwendung des Feuers zur Gesteinsgewinnung nicht hatte erklären können. Es sind jedoch nicht nur gegossene Geräte aus Kupfer gefunden worden, so z. B. eine Axt von der Form, wie sie in den mounds vorkommt, zu Auburn, Cayuga Cty, New-York (Squier, Oboriginal Monuments of the State of New-York, Washington 1849, S. 78), sondern man hat auch in den Gruben selbst Spuren des Feuersetzens entdeckt. Schmidt (Archiv für Anthropologie XI, S. 65 ff.), Rivot (Berg- und Hüttenmänn. Zeitung 1856, S. 326), Dieffenbach (ebenda 1858, S. 27) haben Mitteilung gemacht von in den Bauen gefundenen Haufen von Holzkohlen und Asche, die man nur als Reste von Feuersetzen denken kann. Nach Sir John Lubbocks »Prehistoric Times« (S. 219 ff.) brannten die Indianer Opferfeuer in vertieften Herdgruben von 5—8 Fuß Durchmesser und 10—20 Zoll Tiefe, in denen man außer Asche und Knochen viele Gegenstände des Gewerbefleißes findet, daher die Indianer leicht das Schmelzen von Kupfer lernen konnten.

In Peru finden sich (Ann. d. mines 1882, VIII. S., T. II, p. 571) sehr alte Steinbrüche auf dem Isthmus von Copacabana, die mit Feuersetzen getrieben wurden.

Als letzte der von den Alten ausgeübten Gewinnungsarbeiten sei das unserem »hydraulic mining« vollkommen entsprechende Verfahren der Hereingewinnung von Gestein durch strömendes Wasser hier erwähnt, von dem Plinius bei Gelegenheit des auf den nordwestspanischen Goldlagerstätten umgehenden riesigen Bruchbaues redet. Lassen wir dem Autor selbst das Wort: . . . »Meilenweit leitet man die Wasser über die Berge, dabei muß man das Gefälle bis zur Mündung möglichst stark nehmen, also das Wasser von den höchsten Gegenden herholen. Täler werden überbrückt und das Wasser darüber fortgeleitet. Wo zu steile, unzugängliche Felsen sind, werden sie zur Aufnahme der zum Kanalgerinne nötigen Balken und Bohlen ausgehöhlt. Die diese Arbeiten verrichtenden Leute hängen an Seilen, so daß sie von ferne nicht einmal wie ein Wild, sondern wie ein Vogel aussehen. Sie schweben in der Luft hin und her und zeichnen dem Kanal den Weg vor; ihre Hände räumen den Schutt und das Gerölle in Körben fort . . . An den obersten Abhängen der Berge legt man Teiche als Wasserreservoirs an, 200 Quadratfuß groß bei 10 Fuß Tiefe. An ihnen läßt man fünf je drei Quadratfuß große Auslauföffnungen. Sobald ein Reservoir voll ist, zieht man die Schützen und der Strom stürzt mit solcher Gewalt fort, daß er Felsen fortbewegt . . . Hierauf beginnt die Anreicherungsarbeit in der Ebene« usw.

e) Grubenausbau.

Betrachten wir nunmehr den Ausbau der Grubenräume und die Mittel zu ihrer Offenhaltung während des Betriebes. Wohlbekannt war sowohl den vorhistorischen Bergleuten, wie den Japanern, Chinesen, Nordamerikanern und den Ägyptern, den Griechen, Etruskern und Römern die Tatsache, daß die Form der Grubenräume von Einfluß auf deren Standhaftigkeit sei, deswegen finden wir ausnahmslos die Baue in der Firste gewölbeartig gehalten, so daß die Last des Hangenden vorwiegend auf die Stöße übertragen wird. Gangbergbaue und kleinere Weitungen finden sich fast ohne Ausnahme ohne eine Spur von Ausbau; in den größeren Weiten blieben Stützpfeiler stehen (μεσοχρίνεῖς, ὅρμοι, ὁμοερχεις, χίονες, fornices crebri montibus sustinendis), deren Aufrechterhaltung im laurischen Bergbaubezirke, wie bereits gesagt, durch Gesetz geboten war. Von einem Vergehen gegen dies Gesetz, von einem gewissen Diphilos begangen, kennen wir auch die Ahndung (aus Plutarchs Lycurg). Der Schuldige mußte den Giftbecher leeren und verlor seine ganze Habe im Betrage von 160 Talenten (fast $^3/_4$ Millionen Mark), die unter die Bürger verteilt wurden.

Die künstlichen Mittel zur Stützung des Hangenden bestehen in den Indianerbergbauen am Oberen See aus großen, oft weit hergeholten Steinen, aus denen regelrechte Pfeiler zusammengesetzt sind, je nach der im übrigen sehr wechselnden Höhe der Baue, sonst entweder aus Bergemauerungen, bei denen, wie in den etruskischen Betrieben, hinter einer Packung von groben Gesteinsstücken kleiner Schutt gefüllt wurde, oder aber aus Holzstempeln, bzw. Verbindungen von mehreren Hölzern. Holz ist als Material zum Grubenausbau während des ganzen Altertums immerhin recht selten; wohl deshalb, weil man es in der Hauptsache als Brennmaterial für die Feuersetzarbeit und die Schmelzhütten benützen mußte. Plinius erwähnt Holz als Ausbaumaterial bei seiner umständlichen Schilderung des spanischen Goldbergbaues: Tellus ligneis columnis suspenditur (Hist. nat. XXXIII, 4. 21 ff.). Einen Rest alter römischer Streckenzimmerung fand man in der Katalin-Monulestigrube im Letier Revier zu Verespatak (vgl. Pošepný, Röm. Schöpfrad in »Österr. Zeitschr.« 1877, S. 391, dgl. 1868, S. 153, 165). Die einzelnen Türstöcke standen unmittelbar aneinander; die Verbindung zwischen Stempel und Kappe geschah mittels langer am Stempel angeschnittener Zapfen, welche in Durchbrechungen der Kappe paßten. Ähnlichen Ausbau fand man in sardinischen Römergruben. Etwas hiervon abweichend sind die in den toskanischen Gruben von Selvena bei Sta. Fiora am Monte Amiata gefundenen römischen Türstöcke konstruiert

gewesen, von denen nebenstehende Fig. 33 (nach eigner Aufnahme des Verfassers) ein Bild gibt. Die Stempel sind unten zugespitzt und etwa 10 cm unter der oberen Endfläche von einem 3·5 qcm großen Loch durchbrochen, in welches die Zapfen der Rundholzkappe passen. Die Verbindung schützt mehr gegen seitlichen als gegen Firstendruck. An eben derselben Stelle fand sich auch eine größere Anzahl von Nadelholzzapfen, von denen zu vermuten ist, daß sie aus zur Verschalung hinter der Zimmerung benutzten Zweigen herstammen. Letztere sind vermodert, und nur die daranhängenden Früchte haben sich erhalten und erinnern an die »Nüsse« der Wetterauer Braunkohle, die sich ebenfalls ganz gut erhalten konnten, während die Struktur der dazu gehörenden Hölzer vollständig verloren ging.

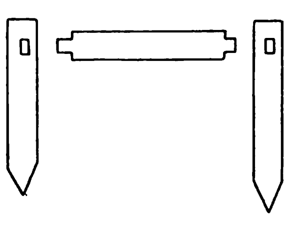


Fig. 33.

Schachtausbau findet sich nur sehr selten; wenn solcher vorhanden ist, so ist es trockene Mauerung aus groben Steinen, einige Meter von dem Mundloche an sich abwärts erstreckend. Sie diente dann zur Festhaltung der losen Schuttmassen, welche aus dem Abteufen des Schachtes gefallen waren, und welche man als Schachthalde aufgestürzt hatte. In einem von den Römern herrührenden Gesenk in der Bleierzlagerstätte des Tanzberges bei Keldenich, unweit Mechernich, fand sich ein Ausbau im ganzen Schrot, dessen einzelne Jöcher gleichfalls durch Verzapfung ineinandergefügt waren. Ähnlicher Brunnenausbau fand sich auf der Saalburg bei Homburg v. d. H.

f) Förderung.

Ebenso primitiv wie der Grubenausbau war auch die Förderung. Da in den weitaus allermeisten Fällen die Ausdehnung der metallführenden Lagerstätte das Maß für die Weite der Strecken und Baue war, so ist es erklärlich, daß die letzteren unregelmäßig sind; wer in einen solchen einfährt, kann nur gebückt oder kriechend, ja nicht selten nur auf allen Vieren voranfahren. Als Fördergefäße dienten Säcke, geflochtene oder aus Brettern zusammengesetzte Tröge, kleine Kesselchen aus Blech. Innerhalb der Strecken förderte man wohl meist durch Handreichung bis an die Mündung des Schachtes oder bis in eine größere Kammer, wo man eine Ausschlägelung vornahm. Danach füllte man das Gut in größere Gefäße, die dann entweder von Hand zu Hand durch die auf Spreizen sitzenden Sklaven herausgereicht wurden oder — in flachen Schächten — auf dem Rücken herausgetragen

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel lederne Säcke, für die man die Bezeichnungen σάκκος, σάκκιον, σάκτηρ, oftmals auch θύλακος findet. Die Arbeiter nannte man θυλακοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐκφορεῖν, φορεῖν, θυλακοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλακοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάκοις περιφέροντες τὰ χώματα καὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐκαλουντο καὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34a u. 34b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind



Fig. 34 a. Fig. 34 b.

mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken

anliegende mit drei, das breitere der Außenseite mit sechs eingeflochtenen Riemen. Am Rande des Sackes ist das Leder 5 cm breit umgelegt und durch zwei eingeflochtene Riemen befestigt. An die Längsnähte des Sackes sind mittels Riemen zwei etwas gebogene, an mehreren Stellen zwecks Befestigung durchlochte Rippen aus Eschenholz befestigt, welche oben und unten etwas herausragen. Zum Tragen des Korbes dient ein 6 cm breites, 1,20 m langes Lederband, welches unten in 10 cm Höhe durch das Leder gezogen und dann beiderseits dreimal um die Rippen gewunden ist. Da dieser um die Brust und eine Schulter gelegte Riemen zum sicheren Tragen nicht ausreichte, so ist am oberen Sackrande eine 0,4 m lange Tannenholzhandhabe angebracht. An dieser konnte der Sack im Gleichgewichte gehalten werden, während einfaches Loslassen der Handhabe ein Umkippen und Rückwärtsentleeren alsbald zur Folge hatte.

Konnte man diese Säcke am besten in flachen Schächten zum Tragen anwenden, so mußte man, um größere Massen auf ziemlich ebener Sohle fortzuschaffen, Schlepptröge anwenden, die entweder geflochten oder aus Brettern zusammengesetzt sind.

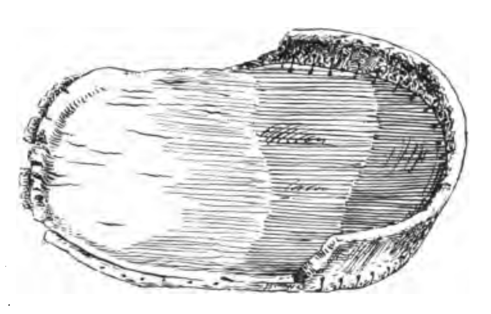


Fig. 35.

Ein zu El Aramo in Asturien gefundener Trog ist in Fig. 35 dargestellt (nach Treptows zit. Arb.). Er besteht aus einem ovalen Boden, an dem mittelst hölzerner Nägel ein niedriger Rand befestigt ist. Auch Reste eines Ledergriffes zum Schleppen finden sich daran.

Hinsichtlich des Massentransportes im Schachte kann man im Altertum zwei verschiedene Methoden unterscheiden. In vielen Fällen sind die Massen durch auf Spreizen sitzende Sklaven herausgereicht worden, in anderen muß man sich auch des Seiles in oder ohne Verbindung mit Haspeln bedient haben. Die Schächte der ersteren Art charakterisieren sich durch einander gegenüberstehende Gesteinslöcher, die den Sitzspreizen als Lager dienten und meistens in Entfernungen von nur 1,0—1,2 m übereinander ausgehauen sind. Bei Seilschächten fehlen indes diese Spuren; meist sind die Stöße ohne jedes Anzeichen eines Einbaus: in seltenen Fällen kann man die Einfuhren für die Wellen von Seilleitrollen bemerken, fast stets aber zeigt der obere Rand des Schachtes mehr oder weniger tiefe, vom Seil im Laufe der Zeit eingeschnittene Furchen. Man hat in solchen Fällen wohl Pferde oder

andere Tiere zum Seilziehen angewendet. In solchen Fällen hat man anscheinend manchmal Strecken- und Schachttransport miteinander in einer allerdings sehr primitiven Art vereinigt, indem man das zu fördernde Gut unmittelbar am Ort der Einfüllung in das Fördergefäß — Sack oder Trog — ans Seil schlug und dann zutage zog. Heute findet man diese Art der Förderung noch bei dem Herausbringen großer Basaltblöcke aus den unterirdischen Brüchen bei Mayen und Niedermendig, in einer Industrie, die überhaupt manche archaistische Formen bewahrt hat.

Die Ägypter wandten Seile aus Baumwolle, die Phönizier solche aus Flachs beim Bau der Brücke des Xerxes über den Hellespont in Verbindung mit Drehwinden an (Herodot VII, 36); aus dem Buche Hiob kennen wir Andeutungen über die Anwendung des Seiles (Kap. 28, Vers 4): »Gänge bricht man fern von den Angehörigen, von dem Fuß vergessen, hängen sie, fern von Menschen wanken sie.«

Nach Diodor (II, 2, 15) wurden zu Persepolis besondere Maschinen — Haspel — benutzt, um die Särge der Könige in die hoch im Felsen gehauenen Gräber zu schaffen.

Aus dem Bauwesen kennt Vitruv u. a. auch den Kreuzhaspel, sucula, den man mit Hilfe von vier Hebeln, rectis, bewegte, und es ist wohl anzunehmen, daß man diese Maschine, die genannter Autor (Arch. X, 8) in Verbindung mit Seil und fester Rolle geradezu als Fördermaschine bezeichnet, auch im Bergbau angewendet habe.

Schon die vorgeschichtlichen Bergleute in El Aramo und auf dem Mitterberge müssen den Haspel gekannt haben; denn am ersteren Orte zeigten mehrere gänzlich leere Schächte an den Stößen Seilspuren, und am Mitterberge fand sich (s. Much, Das vorgesch. Bergwerk, S. 13) ein Exemplar eines solchen in der halben Höhe eines Schachtes. Er lief mit seinen Achszapfen in zwei in den Felsen eingeklemmten Lagern aus Holz und zeigte noch deutlich die Treibspeichen.

In mehreren vorrömischen Schächten bei Agrigent fanden sich gleichfalls Spuren des Heraufziehens von Steinen an den Stößen (Holm, Gesch. Siziliens, I, S. 140), und in den alten Bleigruben Toskanas waren in den kaum $^1/_2$ m im Quadrat messenden Schächten (nach Haupt in Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1856, S. 88) etwa alle 10 m im Gestein die Löcher zu sehen, welche die Achsen der dem Seil als Führung dienenden Rollen getragen hatten.

Einen Kreuzhaspel fand Verfasser bei Selvena am Monte Amiata in — mutmaßlich — etruskischen Bauen. Die Treibspeichen waren tangential in trapezförmigen Einschnitten durch Keile befestigt.

Über Tage transportierte man Lasten nach der einen oder anderen der im folgenden angegebenen Methoden.

Zum Fortschaffen großer Steinblöcke bediente man sich hölzerner Walzen, die von Pollux als λιθουλκοί, von Plinius (Hist. nat. XXXV, 15) als extempores, von Paullus Silentiarius als δουρατέος κύλινδρος bezeichnet werden.

Auf den Gebirgshängen wurden die Lasten nach Strabo (XI, 43) in der Weise zu Tal geschafft, daß sich Schlepper und Last auf ledernen Schleppen (Felle, Säcke) heruntergleiten ließen, in derselben Weise, wie es bis vor kurzem nach am Erzberge in Steiermark der Fall war — Sackzüge —. Strabo kennt diese Art zu transportieren aus dem Kaukasus, aus Media Atropatene und vom Berge Masius.

Des Transportes auf Tieren soll hier nur beiläufig gedacht werden. Ferner sei anhangsweise erwähnt, daß man gelegentlich zum Fortschaffen schwerer Gegenstände auf ungünstigem Grunde künstliche Gleise anlegte. So berichtet E. v. Lasaulx (Untergang des Hellenisums, Münster, 1854, S. 47, nach anderen Quellen), daß Konstantin der Große, als er den aus Theben stammenden Obelisken von 100 Fuß Höhe von Rom von Konstantinopel bringen ließ, den Monolith am Sophientore auf einem mit Eisenschienen belegten Wege über das weiche Terrain habe transportieren lassen.

Daß man im alten Ägypten vor dem Aufbau der Pyramiden Pflasterstraßen anlegte, um die großen Bausteine besser fortbringen zu können, sei hier nur angedeutet.

g) Fahrung.

In den mäßig einfallenden Strecken dienten zur Fahrung, sobald die glatte Sohle nicht mehr den erforderlichen Halt bieten konnte, Treppenstufen, die im Sohlengestein ausgehauen waren; in den steilen Bauen fuhr man entweder auf Steigbäumen oder auf Leitern.

Die alten Japaner benutzten mit Kerben versehene Rundholzsteigbäume, deren Gestalt Fig. 36 (nach Netto [1]) zeigt.

In Minnesota fand sich in einer vorcolumbischen Indianergrube ein Baum, dessen Äste kurz abgehauen waren, als Steigbaum (Schmidt im Arch. f. Anthrop. XI, S. 65).

Auch in der Katalin-Monulestigrube bei Verespatak hat sich ein Steigbaum gefunden (Pošepný a. o. a. O.).

[1]) Über japanisches Berg- und Hüttenwesen. Mitteil. d. dtsch. Ges. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens. II. 1879, S. 367. Mit 2 Tafeln.

Die antiken Fahrten unterscheiden sich in nichts von den heute üblichen Formen; auf der in Fig. 37 dargestellten Reproduktion einer jener bei Korinth gefundenen Tontafeln, die sich heute zum größten Teile in Berlin, zum geringeren in Paris und London befinden, und von denen eine Auslese in dem vom Kgl. Archäol. Institute herausgegebenen Prachtwerke »Antike Denkmäler« enthalten ist, ist auf der linken Seite eine Leiter angedeutet.

Nicht selten, namentlich in römischen Gruben, hat man größere Abschnitte von Schächten voll-

Fig. 36.

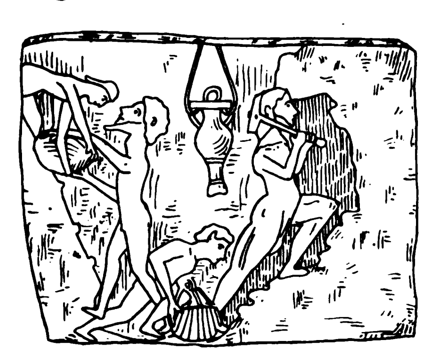


Fig. 37.

kommen ohne jede Spur von Ein- oder Ausbau gefunden. Dies geschah nur zu dem Zwecke, ein Entweichen der in den Bauen angelegten Sklaven zu verhindern. Bei einem feindlichen Überfalle entflohen dann vielleicht die Aufseher, unbekümmert um das Los der Sklaven.

h) Beleuchtung.

Zur Beleuchtung bediente man sich hölzerner Späne, bei Chinesen und Japanern solcher aus geklopftem Bambus, kleiner Reisigbündelchen, mit Tierfett getränkt oder mit fettgetränkten Fellstreifen umwunden, endlich auch tönerner oder metallener Öllampen. In den verschiedenen antiken Grubenbezirken sind viele der letzteren gefunden worden; sie sind bis auf eine oder zwei Öffnungen (zum Füllen und zum Dochtauslaß) ringsum geschlossen, im allgemeinen etwa 10 cm lang und etwa 7 cm im Lichten weit. In China und Japan benutzte man auch Schneckengehäuse, die mit Öl oder Fett gefüllt waren. Römische Grubenlampen zeigen die Figuren 38 und 39. Sie wurden entweder in Nischen des Stoßes aufgestellt oder aber vor der Stirn getragen (Diodor III, 12, 6). Letztere Art der Beleuchtung hat Veranlassung zu der Sage von den einäugigen Menschen (Arimaspuer bei

Herodot, Polyphem bei Homer usw.) gegeben. Größere Kammern hat man auch, nach dem eben erwähnten korinthischen Weihetäfelchen (siehe Fig. 37) zu schließen, durch von der Decke herabhängende Lampen beleuchtet. Als Leuchtmaterial diente wohl zumeist aus Pflanzen ausgepreßtes Öl. Ausdrücklich bezeugt dies Strabo (XVII, 321) von den Ägyptern; diese säten nach seinem Zeugnisse eine mit dem Namen Kiki belegte Frucht, deren Öl sich fast alle Landeseinwohner

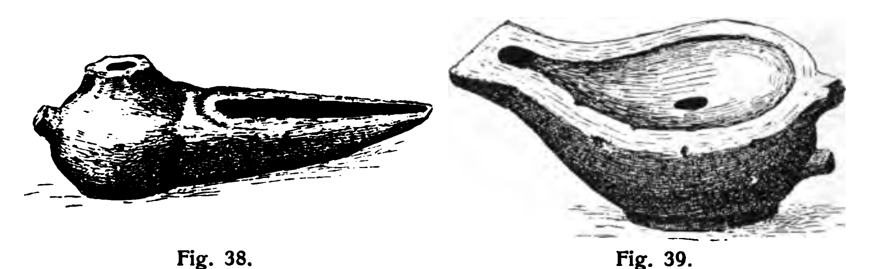


Fig. 38. Fig. 39.

zum Brennen in den Lampen bedienten, das aber von den ärmeren Leuten auch zum Salben benutzt wurde.

Daß man gelegentlich auch Petroleum als Leuchtstoff benutzt habe, dürfen wir bei der allgemeinen Bekanntschaft des Altertums mit diesem Stoffe und seinen Verwandten ruhig annehmen; berichten doch z. B. Dioscorides (I, 99) und Plinius (XXXV, 51) von der Benutzung des als πίττασφαλτος, bitumen pissasphaltum, benannten Materials ausführlich. Übrigens scheint man nach den von Plinius über den bereits mehrfach zitierten spanischen Bruchbau beigebrachten Notizen in manchen Fällen die Arbeit im Finstern verrichtet zu haben (multisque mensibus non cernitur dies), wenigstens aber bei der von Hand zu Hand bewerkstelligten Haufwerksförderung.

i) Wetterversorgung.

Im allgemeinen waren die Vorkehrungen der Alten zur Wetterbeschaffung und Wetterverteilung in den Gruben ziemlich primitiv. Maschinelle Einrichtungen waren ihnen durchaus unbekannt, so daß man nur auf die natürliche Bewegung der Luft auf Grund von Temperatur- oder Höhenunterschieden angewiesen war.

Berücksichtigt man, daß sehr viele antike Gruben mehrere Dutzend Meter tief hinabgingen — die laurischen Gruben sind vielfach mehr als 50 m tief, im oberen Elsaß sind die Römerbaue bis auf 200 Toisen (flach gemessen), in Spanien nach Diodorus und Strabo bis auf viele Stadien flache Länge vorgedrungen; Gobet (I, p. 187) kennt aus Asturien und den Pyrenäen Römerbaue, die bis 1400 Fuß flachgemessene

Tiefe hatten; zu Wiesloch beläuft sich die Gesamtlänge aller unterirdischen Strecken auf mehrere Kilometer —, so begreift man, daß die Luft in der Grube recht wenig bewegt werden konnte, wenn man nicht durch eine große Anzahl von Schächten einen kurzen und einfachen Wetterweg schuf. Im laurischen Grubenbezirke scheint geradezu stets ein Zentralschacht einer Anzahl von um ihn liegenden Förderschächten als Wetterschacht gedient zu haben (Kordellas, Le Laurium S. 84, 85). Einzelne Förderschächte besaßen außerdem noch schmale Nebenschächte von 60—80 cm Weite als Luftschächte, ψυχαγώγια (vgl. Strabo III, 147); von den Römern werden diese als aestuaria bezeichnet.

Die Fahrbarkeit eines Schachtes prüfte man nach Plinius (hist. nat. XXXI, 28) durch Hinablassen einer brennenden Lampe: Experimentum periculi est demissa ardens lucerna, si extinguatur. Vor Ort suchte man den Wetterzug durch Schwingen von Leinentüchern zu verbessern (Plinius, l. c.: Fit . . . altitudine ipsa gravior aes, quem emendant assiduo linteorum jactatu eventilando: Die Luft wird mit der Tiefe schwerer; man verbessert sie durch dauerndes Schlagen mit Tüchern). Namentlich in den vom Feuersetzen erhitzen Bauen, in denen sehr viel »vapor et fumus« vorhanden war, wird man dieses Hilfsmittels nicht haben entraten können, um die ohnehin schon wenig beneidenswert gestaltete Arbeit nicht noch mehr zu erschweren. Daß man gelegentlich durch die primitiven Ventilationsmittel nicht viel erzielte, geht am schärfsten aus der von Strabo gegebenen Schilderung der kleinasiatischen Arsenikgruben von Sandaracurgium bei Pompejopolis (bei den heutigen Flüssen Kyzyl Irmak und Jeschil Irmak) hervor. (Strabo XII, 40, 841.) Hier war nicht nur die Arbeit sehr mühselig, sondern die Arbeiter »starben auch wie die Fliegen dahin, vor den aus dem Gebirge aufsteigenden Dünsten«.

Es waren dort mehr als 200 Arbeiter angelegt, die aber binnen kurzem immer wieder durch neue ersetzt werden mußten.

Allerdings mag diese Grube auch wohl einzig hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Verhältnisse dagestanden haben; denn man wußte den Vorzug eines guten Wetterwechsels sehr wohl zu würdigen und erkaufte ihn unter Umständen selbst mit der Herstellung eines zweiten Schachtes, wie Vitruv (VIII, c. 7) angibt. Es heißt hier: »Beim Brunnengraben strömen die giftigen Dünste hervor und belästigen die Arbeiter, die, wenn sie nicht schnell flüchten, ihnen erliegen. Man läßt zum Erkennen der schlechten Wetter eine brennende Lampe in den Schacht, der, wenn die Lampe brennend bleibt, ohne Gefahr befahren werden kann. Verlöscht aber das Licht, so gräbt man einen zweiten Schacht, mit dem man den Dunst verjagt.« Nach dieser Schilderung

scheint man sich allerdings erst dann zur Herstellung eines besonderen Ausziehschachtes entschlossen zu haben, wenn dem Vordringen in die Tiefe durch die »spiritus immanes« — matten Wetter — ein unbedingtes Ziel gesetzt wurde.

Nach Ardaillon (Les mines du Laurion, S. 50) hat man in den laurischen Schächten Wetterscheider angebracht, die aus Brettern mit einer Dichtung aus Lehm bestanden. Der Scheider ging nicht bis auf die Schachtsohle, sondern blieb 1—1,5 m von derselben entfernt. War der Schacht abgeteuft, so wurde der Wetterscheider entfernt. Das Vorhandensein solcher Verschläge zur Teilung des Wetterstromes und zur Erzielung eines Wetterumlaufes wird aus der Existenz von zwei schmalen und seichten Rinnen ersichtlich, die in manchen Schächten vertikal von oben nach unten laufen und den (horizontal eingelegten) Scheiderhölzern als Halt dienten.

Ob man in den Abbauräumen zur Verbesserung der Atmosphäre Räuchermittel anwandte, erscheint nicht ganz ungewiß; so legte Professor Curtius 1877 in einer Sitzung der Archäologischen Gesellschaft zu Berlin ein in den laurischen Gruben gefundenes schmuckloses Tongefäß in Gestalt eines Doppelbechers mit regelmäßig durchbrochenen Wänden vor, welches seiner Meinung gemäß zum Räuchern gedient hat.

Immerhin mag ein solches Mittel nur subsidiär angewendet worden sein; im allgemeinen schaffte man einen möglichst weitgehenden Wetterumlauf durch die heute als Parallelbetrieb bezeichnete Einrichtung, indem man, sobald nur irgend tunlich, mit jeder Strecke ein paralleles Begleitort trieb und beide möglichst oft durch Durchhiebe miteinander in Verbindung brachte. Aus dieser Praxis erklärt sich auch die außerordentliche Kompliziertheit antiker Grubengebäude, bei denen sich oft an unzähligen Stellen Streckenverzweigungen und -vereinigungen vorfinden. Hatte man bei weiterem Aushieb Gelegenheit, den Wetterweg abzukürzen, so versetzte man die sonst unnötigerweise den Wetterstrom zersplitternden Strecken mit Gesteinschutt, wie sich bei vielen laurischen Gruben gezeigt hat.

k) Wasserhaltung.

Einer der wichtigsten Betriebszweige des antiken Bergbaues, der oftmals eine bedeutende Anzahl von Arbeitern vom eigentlich produktiven Betriebe abzog, war die Wasserhaltung. In den meisten Fällen waren die Vorkehrungen zur Freihaltung flacher Gruben von Wasser wenig kunstvoll; so trug man vielfach das Wasser in Lederschläuchen oder Eimern aus der Grube. Bodenstücke solcher

Transportgefäße für Wasser hat man z. B. in den vorgeschichtlichen Bauen am Mitterberg in Salzburg in größerer Anzahl gefunden. Weil diese Art der Förderung aber bei geringer Höhe schon äußerst mühevoll und verlustreich wurde, benutzten die Ägypter bereits sehr frühe die als Schaduff, Kaduff, auch Picota bekannte, auch heute noch in Afrika angewandte, aus der Kombination von Hebel, Seil und Korb bestehende Maschine, von der die Fig. 40 eine Darstellung gibt. An dem auf hohem gabel- oder turmartigen Gestelle gelagerten Schwingbaume hängt an dem einen Ende eine Hängestange oder ein Seil mit Wasserkübel, am anderen Ende ist ein Gegengewicht angebracht. Dadurch, daß Männer auf dem Schwingbaume hin und her und über den Stützpunkt schritten, brachten sie die zum Wasserheben erforderliche schwingende Bewegung hervor.

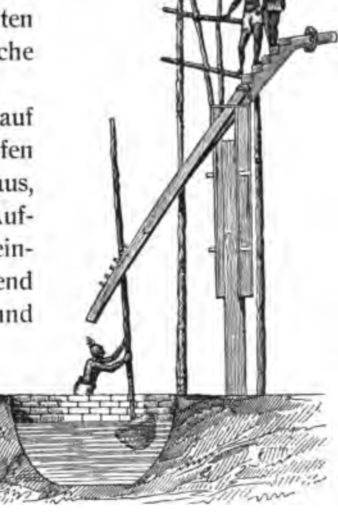


Fig. 40.

Zum Ausheben von Standwassern auf eine geringe Höhe, etwa zum Sümpfen einer Grube in der Sohle eines Tagebaus, vielleicht auch zum Beaufschlagen von Aufbereitungsapparaten, hat das Altertum die einfache Wasserwippe gekannt, bestehend aus einem langen Hebel mit Kasten und Bodenventil am Ende. Eine solche Vorrichtung ist (nach Eng. a. Min. Journ. XXII, p. 607) in einer Zinnseife in Cornwall gefunden worden, die nach den Fundumständen sicher in das Altertum versetzt werden muß.

Daß die Ägypter, Assyrer und auch die Römer, die sich bei Ausführung ihrer Riesenbauten, außer der einfachen Vorrichtungen des Hebels, Keiles, der Walze, schiefen Ebene und des Seiles, doch auch bereits des aus Walze, Kurbel und Seil kombinierten Haspels bedienten, dieses Gerät auch zum Wasserheben aus Bergbauen benutzten, bezeugt uns Plinius (Hist. nat. XIX, 4); Vitruvius läßt es uns nur ahnen; er teilt nämlich mit, daß (ums Jahr 400 v. Chr.) Archytas von Tarent »hydraulische Maschinen« erfunden habe, doch sagt er nicht, welche; es ist zu vermuten, daß es ein Haspel gewesen sei, um in Eimern oder Schläuchen Wasser zu heben. Erwähnt wird diese Art von Maschinen mehrmals (L. I c. 1 u. l. 9 c. 3). In den alten Gruben

von Carthagena hat man mit Pech gedichtete Espartograskörbe zum Wasserheben am Seile gefunden (Rev. archéolog. 1868, S. 268).

Neben diesen einfachen Maschinen, von denen nur die zuletzt erwähnte imstande war, das Wasser auf bedeutendere Höhen zu wältigen, kamen im Altertum auch kompliziertere Wasserhebeapparate zur Anwendung, nämlich die Schneckenpumpe (cochlea), die Becherwerke oder Kannenkünste, die Wasserräder und die verschiedenen Arten von Saug- und Druckpumpen, unter denen namentlich die des nach Plinius (hist. nat. VII, 38) durch die Erfindung von Luft- und Wasserdruckapparaten berühmten Ctesibius, der, ein Sohn eines Barbiers, zur Zeit des Ptolemäus Philadelphus lebte, unsere Aufmerksamkeit erregt.

Die Erfindung der Schneckenpumpe schreibt Diodor (I, 24; V, 37) dem Syrakusaner Archimedes zu; andere behaupten, ein Freund des Archimedes, Conon aus Samos, der lange zu Alexandrien lebte, habe sie erfunden. Wahrscheinlicher ist, daß Archimedes den Apparat bereits in Ägypten vorgefunden und in Griechenland allgemein bekannt gemacht hat. Vitruvius schildert ihre Herstellung folgendermaßen (vgl. l. X, 6): »Man nimmt einen Balken von so viel Zoll Dicke, als er Fuß Länge hat und schneidet ihn genau zylindrisch. Auf den Endkreisen bringt man nun Teilungen in vier bzw. acht Teile an, welche in ihren Teilungslinien genau korrespondieren; dann werden senkrecht zu den Grundflächen Linien von einem Stirnkreise zum anderen gezogen und auf ihnen Achtel jener Kreislinie aufgetragen. So entstehen auf dem Zylindermantel in der Quere und Höhe gleichgroße Räume. Auf den Längslinien sind nun in der Spirallinie umlaufend weitere Punkte bestimmt. Dann nimmt man eine dünne Rute aus Weide oder (wildem) Wein, taucht sie in flüssiges Pech und befestigt sie am ersten Punkte der rundumlaufenden Teillinie. Darauf legt man dieselbe schräg auf und führt sie über die einzelnen Schnittpunkte der Längs- und Querlinien, so daß das Ende wieder auf der gleichen Mantellinie wie der Anfang liegt. Genau ebenso werden über die anderen Teilungen hinweg ähnliche Ruten in der Spirallinie herumgelegt, so daß gleichsam Kanäle in genauer Nachbildung einer Schneckenschale entstehen. Über den vorhandenen Ruten werden dann noch andere festgemacht, die auch in flüssiges Pech getaucht sind, so lange, bis die gesamte Dicke dem achten Teile der Länge gleichkommt. Darüber werden nun Bretter befestigt, welche die Gewindegänge überdecken; diese werden ebenfalls mit Pech bestrichen und mit eisernen Bändern umgeben, damit nicht die Gewalt des Wassers sie losreiße. An den Stirnenden des Balkens werden eiserne Zapfen angebracht, rechts und links von der Schneckenwelle stellt man (Lager-)Balken auf, die oberhalb jederseits durch Querbalken

miteinander verbunden sind. In diesen befinden sich mit Eisen ausgelegte Öffnungen, um obige Zapfen aufzunehmen. Die Neigung der Achse der Schneckenwelle wird nun so bemessen, daß (von der durch den oberen und unteren Zapfen gelegten Lotrechten bzw. Horizontalen) ein pythagoreisches rechtwinkliges Dreieck gebildet wird. Wenn man nämlich die Balkenlänge in fünf Teile zerlegt, so erhebt man das eine Ende des Wellenstumpfes und drei Teile dieses Maßes. . . . . In Bewegung gesetzt wird die Schnecke dann durch Treten seitens einer Anzahl von Arbeitern.« Wegen der nur geringen Hubhöhe dieser Maschinen mußte man deren mehrere übereinander anordnen, wodurch man eine große Anzahl von Arbeitern nötig hatte, da man in der Grube nicht, wie vielfach über Tage, von Zugtieren betätigte Göpelwerke zum Umtreiben benutzen konnte.

Ebenfalls nur für geringe Hubhöhen verwendbar war die bei den Chinesen gebrauchte Kettenschaufelpumpe, welche an den Gelenken einer endlosen Kette Schaufeln besaß, die sich in einer schwach geneigten, ins Wasser eintauchenden Rinne nach oben bewegten und das Wasser in ein Sammelbecken hoben.

Weiter beschreibt Vitruvius ein Kettenbecherwerk (eine »Kannenkunst«) für viel größere Hubhöhen (l. X, c. 9) wie folgt: Soll das Wasser an bedeutend höhere Punkte geliefert werden, so schlingt man um die Welle eines Tretrades ein eisernes Kettenpaar (duplex ferrea catena), welches so eingerichtet ist, daß es bis unter den Wasserspiegel hinabreicht und angehängte Bronzeeimer trägt (habens situlos pendentes aereos congiales), die etwa einen congius — 1 congius = 6 sextarii = $^1/_8$ amphora, etwa 3,28 l — fassen. Dann wird die Drehung des Rades dadurch, daß die Doppelkette sich um die Welle herumlegt, die Eimer nach oben bringen, wobei sie, umgestürzt, ihren Wasserinhalt in einen Sammelkasten entleeren.

Außerdem bediente man sich seit uralter Zeit der Wasserräder zum Heben von Grubenwasser. In Mesopotamien und Ägypten dienten sie im Anfang zur Bewässerung der Ländereien, wurden dann aber auch beim Bergwesen benutzt[1]. Bemerkenswert sind einige Sätze aus Vitruvius ausführlicher Beschreibung der Herstellung: »Es wird dazu eine Achse entweder auf der Drehbank bearbeitet oder nach dem Zirkel behauen; an den beiden Enden werden Eisenbeschläge angebracht. Man zimmert rings um die Welle ein Rad und befestigt seitwärts herum kubische Kästchen, die mit Pech und Wachs gedichtet sind — modioli quadrati pice et cera solidati —. Wenn dann das Rad von

---

[1]) Erwähnt sei, daß das Schöpfrad ein symbolisches Zeichen hohepriesterlicher Würde bei den Juden war.

den Tretern bewegt wird, so werden die gefüllten Kästchen nach oben kommen, wo die sich in den Sammelkasten entleeren.« Diese Wasserräder hießen τύμπανον[1]). Beiläufig sei hier erwähnt, daß auch das Zahnradgetriebe und das (schräg oder vertikal stehende) zu beliebigem Zwecke angewendete Tretrad denselben Namen führten, der ursprünglich eine Pauke sowie ähnliche Schlaginstrumente bedeutet, dann aber auf ähnlich gestaltete Apparate übertragen wurde.

Ein anderes »Tympanon« der Alten bestand aus einer um eine horizontale hohle Achse drehbaren Zylindertrommel, welche durch Längsscheidewände in mehrere Abteilungen geteilt war und gewissermaßen als ein Schöpfrad mit bis zur Achse sich erstreckenden Gefäßen aufzufassen ist. Das Wasser tritt an dem unteren eingetauchten Teile des Trommelmantels ein, wird im Laufe der Drehung des Tympanon etwa bis auf die Höhe der Achse gehoben, fließt dann auf den Scheidewänden wie auf schiefen Ebenen der hohlen Achse zu und verläßt hier den Apparat.

Von Wasserrädern, welche den in unseren Tagen wieder zur Wasserhebung gebauten Rädern analog konstruiert sind, hat man Exemplare in Gruben von San Domingos und von Verespatak gefunden, die von Pošepný beschrieben worden sind (»Österr. Zeitschr.« 1868 und 1877). Das zu Verespatak in Fragmenten gefundene Rad, von welchem nebenstehend ein Bild gegeben wird (Fig. 41), hatte 24 Schaufeln; jede Schaufel bestand aus einem am äußeren Rande etwa 25 mm, am Zapfen etwa 38 mm starken, rund 160 mm breiten Buchenholzbrette. 25 bzw. 175 mm vom äußeren Kranzende enthielt das Schaufelblatt 12 mm breite und 6 mm tiefe, mit der Säge ausgearbeitete Rinnen; an den Schaufelseiten waren je drei kantige, 2 Zoll tiefe Nagellöcher vorhanden. Der im ganzen 1,46 bis 1,48 m lange Schaufelarm war am Zapfen 70—75 mm dick, am unteren Schaufelende aber 55 mm. Die Seitenabgrenzung der Schaufeln wurde durch zwei $^1/_3$—$^1/_2$ Zoll starke Buchenbretter in

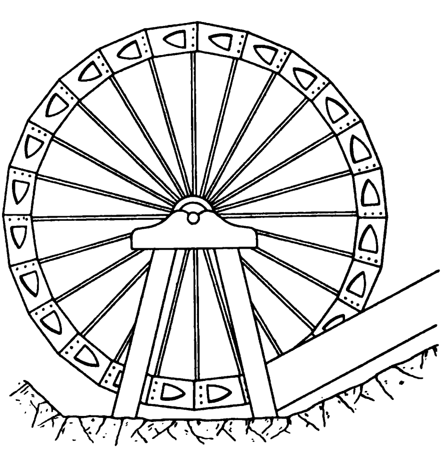
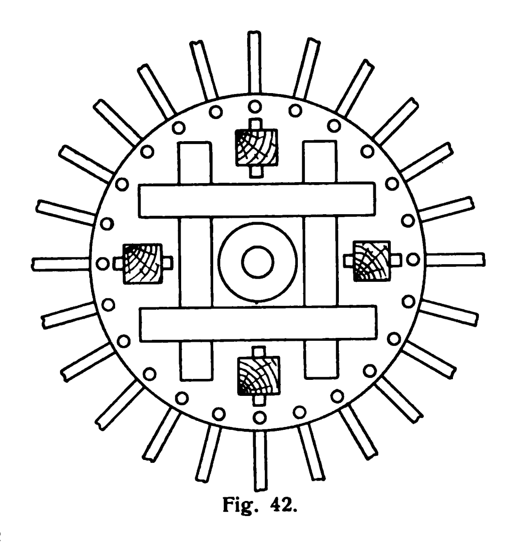


Fig. 41.

[1]) Gebräuchlichere Form statt τύπανον von τύπτω.

Bogenform, die mittels Überblattung aufeinandergepaßt und zusammengenagelt waren, gebildet. Diese Brettchen hatten jederseits einen dreieckigen Ausschnitt. Den äußeren und inneren Kammerboden bilden zwei in die Schaufelblattrinnen eingelegte Buchenbretter von 0,5—0,6 Zoll Dicke. Die Radwelle war 1 m lang, in der Mitte zirka 30, am hölzernen Zapfen zirka 12,5 cm stark; der Zapfen selbst war bei 12,5 cm Länge nur 5 cm stark; die Schaufelstiele saßen mit etwa 2,5 cm Fleischzwischenraum in der Welle, die in ihren Zapfen durch zwei dreiseitig behauene auf divergierenden Stützen gelagerte Balken unterstützt wurde. Das insgesamt 100 kg schwere, mit Ausnahme der Nägel gänzlich aus Holz konstruierte Rad hatte einen Durchmesser von etwa $3^1/_3$ m; es stand etwa 1 m unter der Sohle der zunächst liegenden Strecke. Ein Ausflußgerinne wurde nicht mehr vorgefunden. Bewegt wurde das Rad ausschließlich durch die Kraft der Arbeiter.

Das Modell eines Heberades aus der Kupfergrube San Domingos, in der Nähe des Zusammenflusses des Chança und Guadiana, war nach Pošepný auf der Weltausstellung in Philadelphia rekonstruiert ausgestellt. Im großen und ganzen war die Konstruktion der in den spanischen Römerbauten gefundenen Heberäder — es sind im ganzen acht große von je 4,875 m Durchmesser und zwei kleinere von je 3,66 m Durchmesser gefunden worden — der des Verespataker Rades ähnlich, nur waren die Stiele der 24 Schaufeln aus zwei Sparren gebildet, die nach Fig. 42 mittels Quernägel an zwei auf der Achse befestigten hölzernen Scheiben angebracht waren. Die zum Wasserableiten vorhandene


Fig. 42.

Rinne lag etwa $3^3/_4$ m über dem Wasserspiegel des Zuführungsbaues so daß der Effekt der Hebung nur etwa 76 % des theoretisch möglichen betragen konnte. Auch in Tharsis, Rio-Tinto und im alten Mann des Michaeliganges unter dem (römischen) Annastollen in Ruda (Siebenbürgen) hat man solche Heberäder gefunden, die alle dem ersten bis vierten nachchristlichen Jahrhundert angehören.

Ebensolche Räder benutzte man etwa seit dem ersten vorchristlichen

Jahrhundert zum Umtreiben der Mühlsteine, und es ist wohl anzunehmen, daß man sich ihrer auch gelegentlich zum Antrieb der Aufbereitungsmühlen bedient habe, ebenso wie man (siehe oben) sie bei der Zerteilung der Schieferplatten zum Antrieb der Sägen benutzte.

Endlich kannte man im Altertum eine Reihe von Pumpen. Wann und von wem die gewöhnliche Saugpumpe erfunden worden ist, kann nicht festgestellt werden; wahrscheinlich war sie aber bereits

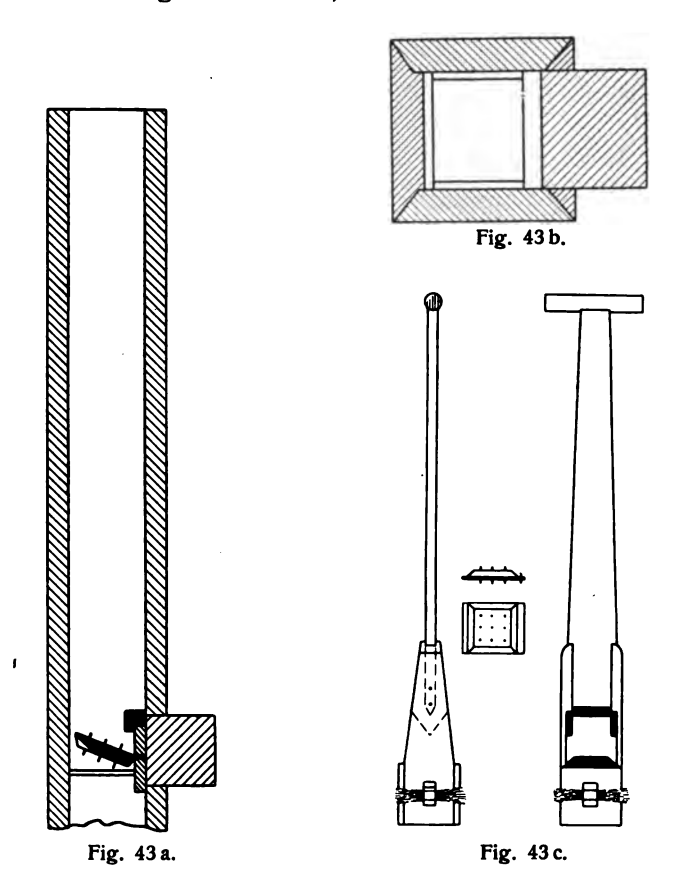


Fig. 43 b.

Fig. 43 a.

Fig. 43 c.

im alten Ägypten in Anwendung. Bei Aristophanes wird eine antlia erwähnt; es scheint, nach Martials Äußerungen zu urteilen (»Die antlia ist eine Maschine, um Wasser aufzuziehen«), eine einfache Saugpumpe gewesen zu sein. Daneben geschieht eines als »siphon« bezeichneten Apparates Erwähnung, der aber auch andere Vorkehrungen als Pumpen zum Heben und Ausgießen von Wasser bezeichnet. Daß »siphon« eine Saugpumpe bezeichnete, geht aus mehrfachen Äußerungen der Alten hervor. So lehrten die platonischen

für die Ländereien verwende. Die großen Oasen von Theben und Dachel sind fast siebartig mit Bohrbrunnen durchörtert, von denen viele im Laufe des verflossenen Jahrhunderts von neuem eröffnet worden sind. Auch die II. Mos. 17, 1—6 niedergelegte Erzählung von der »Tränkung Israels aus einem Felsen«, den Moses »mit dem Stabe schlug«, haben wir uns aller Wahrscheinlichkeit gemäß als eine Wasserbeschaffung aus einem Bohrbrunnen zu denken. Die Wüstenbrunnen der Araber sind etwa 30 m tief; in dieser Tiefe liegt eine ziemlich mächtige harte Kalksteinschicht, die mit einem einige Zoll weiten Loche durchstoßen wird, worauf aus der unteren wasserführenden Schicht ein Quell hervorspringt. Der Kunstfertigkeit der Wüstenanwohner scheint sich auch Alexander d. Gr. bedient zu haben; lesen wir doch bei Strabo (l. XV, c. 68) daß er, als er nach Gedrosien zog, vor sich her Bergleute in die Wüste sandte, welche Brunnen für das Heer graben mußten.

Auch die Sage von Herkules beschäftigt sich mit einer Tat, die man als Erschließung von artesischem Wasser deuten kann. Herkules kam danach einst an die Stelle, wo heute der Ciminische See liegt (beim Mte. Cimino, unweit von Vico in Mittelitalien), und als die Einwohner von ihm eine Kraftprobe forderten, stieß er eine Eisenstange so tief in den Erdboden, daß niemand dieselbe herauszuziehen vermochte. Dann trat er wieder hinzu und zog mit einem einzigen Ruck die Stange heraus, worauf aus der Öffnung so viel Wasser hervorquoll, daß daraus ein See entstand.

Seit mindestens 2000 Jahren ist auch in China die Bohrtechnik in Ausübung. Alles, was zum Bohrbetrieb nötig ist, z. B. den Bohrturm, die Gestänge, Futterröhren, selbst die Bohrer und die Fanggeräte, stellen die Chinesen aus Bambusrohr her. Als Motor benutzen sie Menschenkraft oder den Esel. Das Objekt, nach dem gebohrt wird, ist Sole, daneben wird das aus den Bohrungen gelegentlich ausströmende Gas zum Versieden der Sole mitgewonnen. Die Hauptindustrie auf Sole ist seit undenklicher Zeit auf die Provinz Se-chuen, der westlichsten an Tibet grenzenden Landschaft konzentriert. Die Technik des Bohrens ist folgende (nach dem Berichte des französischen Missionars M. L. Coldre (vgl. Tecklenburg, Handbuch der Tiefbohrkunde, 1893, V. Band, S. 206):

Bis aufs feste Gestein wird mit Spaten und Haue ein Vorschacht abgeteuft. Dann umrandet man das Mundloch mit Steinen, oder man setzt geradezu den Vorschacht mit durchbohrten Steinen aus, um die man gegebenenfalls noch Kleinschlag einbringt. Über dem Bohrloche wird dann in irgend einer Form ein Bohrturm mit einem Göpel und Getrieben zum Heben und Senken des Bohrgerätes, dessen Handhabung stets am Seil geschieht, gebaut.

von verzinnten Küchengeräten so allgemein, daß man mit Recht auf eine frühzeitig hochentwickelte Zinnerzeugung schließt.

Im Altindischen heißt Zinn Naga; es ist dies derselbe Name, den das Land an der Westküste Hinterindiens führt. Im Zend heißt das Zinn Aonica, syrisch, chaldäisch und jüdisch Anak, jüdisch auch Oferet und Bedil; letzteres, wörtlich wohl mit »Ausgeschiedenes« zu übersetzen, kann auch mit »Bleiglätte« identisch sein. Äthiopische Bezeichnung für Zinn ist Naak, im Koptischen steht tram für Zinn.

Die Übereinstimmung dieser Wörter beweist die weite und frühe Verbreitung des Metalls von einem Zentrum aus, als welches sich sehr naheliegend die unerschöpflichen hinterindischen Zinnwäschen bezeichnen lassen.

Neben diesen uralten Bezeichnungen herrscht in dem Zeitraum von 1000 v. Chr. bis in die ersten Jahrhunderte nach Chr. im Mittelmeergebiete der Name Kassiteros. Woher das Wort stammt, ist unbekannt, wahrscheinlich ist aber, daß die damals den Welthandel beherrschenden Phönizier die weite Verbreitung der Bezeichnung bewirkt haben. Böthlingk hält in seinem Sanskritlexikon dafür, daß die Phönizier auch nach Indien den Namen gebracht haben, wo seit den letzten vorchristlichen Jahrhunderten tatsächlich Zinn mit Kastira bezeichnet wird.

Homer kennt das Zinn als κασσίτερος oder auch (vereinzelt) als κασσίτηρος — Ilias XI, 34: zwanzig zinnerne Schildbukel: ὀμφαλοὶ ἦσαν ἐείκοσι κασσιτέροιο λευκοί; Ilias XX, v. 271: Schildschichten aus Zinn; Ilias XXI, v. 592; XVIII, v. 613: Beinschienen aus Zinn —; Hesiod gibt bereits einige Andeutungen über das Umschmelzen des Metalls (siehe weiter unten), und seit dieser Zeit geht die Benennung durch die ganze griechische und lateinische Literatur bis nach Plinius. Neben Kassiteros, Kassiteron gebrauchten die Römer auch den Namen plumbum album, plumbum candidum, zum Unterschiede von plumbum nigrum = Blei; allerdings hat man das unterscheidende Adjektivum häufig genug aus dem Sinne zu ergänzen.

Mit dem Aufblühen der phönizischen Seemacht treten Britannien und Spanien als Zinnproduzenten in den Vordergrund. Schon Herodot nennt Britannien (III, 115) als νῆσοι Κασσιτερίδες; Strabo (II, 2), Plinius (IV, 36; VII, 57; XXXIV, 47) und Diodorus Siculus (V, 2) kennen gleichfalls die britischen Kassiteriden als Hauptzinnland. Daß das Gebiet in den Jahrhunderten um die Wende der Zeitrechnung tatsächlich den Markt beherrscht haben muß, erhellt aus der einen Tatsache, daß im vierten Jahrhundert n. Chr. statt des alten Namens das

für die Ländereien verwende. Die großen Oasen von Theben und Dachel sind fast siebartig mit Bohrbrunnen durchörtert, von denen viele im Laufe des verflossenen Jahrhunderts von neuem eröffnet worden sind. Auch die II. Mos. 17, 1—6 niedergelegte Erzählung von der »Tränkung Israels aus einem Felsen«, den Moses »mit dem Stabe schlug«, haben wir uns aller Wahrscheinlichkeit gemäß als eine Wasserbeschaffung aus einem Bohrbrunnen zu denken. Die Wüstenbrunnen der Araber sind etwa 30 m tief; in dieser Tiefe liegt eine ziemlich mächtige harte Kalksteinschicht, die mit einem einige Zoll weiten Loche durchstoßen wird, worauf aus der unteren wasserführenden Schicht ein Quell hervorspringt. Der Kunstfertigkeit der Wüstenanwohner scheint sich auch Alexander d. Gr. bedient zu haben; lesen wir doch bei Strabo (l. XV, c. 68) daß er, als er nach Gedrosien zog, vor sich her Bergleute in die Wüste sandte, welche Brunnen für das Heer graben mußten.

Auch die Sage von Herkules beschäftigt sich mit einer Tat, die man als Erschließung von artesischem Wasser deuten kann. Herkules kam danach einst an die Stelle, wo heute der Ciminische See liegt (beim Mte. Cimino, unweit von Vico in Mittelitalien), und als die Einwohner von ihm eine Kraftprobe forderten, stieß er eine Eisenstange so tief in den Erdboden, daß niemand dieselbe herauszuziehen vermochte. Dann trat er wieder hinzu und zog mit einem einzigen Ruck die Stange heraus, worauf aus der Öffnung so viel Wasser hervorquoll, daß daraus ein See entstand.

Seit mindestens 2000 Jahren ist auch in China die Bohrtechnik in Ausübung. Alles, was zum Bohrbetrieb nötig ist, z. B. den Bohrturm, die Gestänge, Futterröhren, selbst die Bohrer und die Fanggeräte, stellen die Chinesen aus Bambusrohr her. Als Motor benutzen sie Menschenkraft oder den Esel. Das Objekt, nach dem gebohrt wird, ist Sole, daneben wird das aus den Bohrungen gelegentlich ausströmende Gas zum Versieden der Sole mitgewonnen. Die Hauptindustrie auf Sole ist seit undenklicher Zeit auf die Provinz Se-chuen, der westlichsten an Tibet grenzenden Landschaft konzentriert. Die Technik des Bohrens ist folgende (nach dem Berichte des französischen Missionars M. L. Coldre (vgl. Tecklenburg, Handbuch der Tiefbohrkunde, 1893, V. Band, S. 206):

Bis aufs feste Gestein wird mit Spaten und Haue ein Vorschacht abgeteuft. Dann umrandet man das Mundloch mit Steinen, oder man setzt geradezu den Vorschacht mit durchbohrten Steinen aus, um die man gegebenenfalls noch Kleinschlag einbringt. Über dem Bohrloche wird dann in irgend einer Form ein Bohrturm mit einem Göpel und Getrieben zum Heben und Senken des Bohrgerätes, dessen Handhabung stets am Seil geschieht, gebaut.

S. 81); vom Mitterberg beschreibt sie Much (Das vorgeschichtliche Kupferbergwerk auf dem Mitterberge, Wien 1879, S. 14). Je ein Exemplar aus den Kupfergruben von El Aramo und aus Rio Tinto zeigen die Figuren 28 und 29 (nach Treptow, Mineralbenutzung in

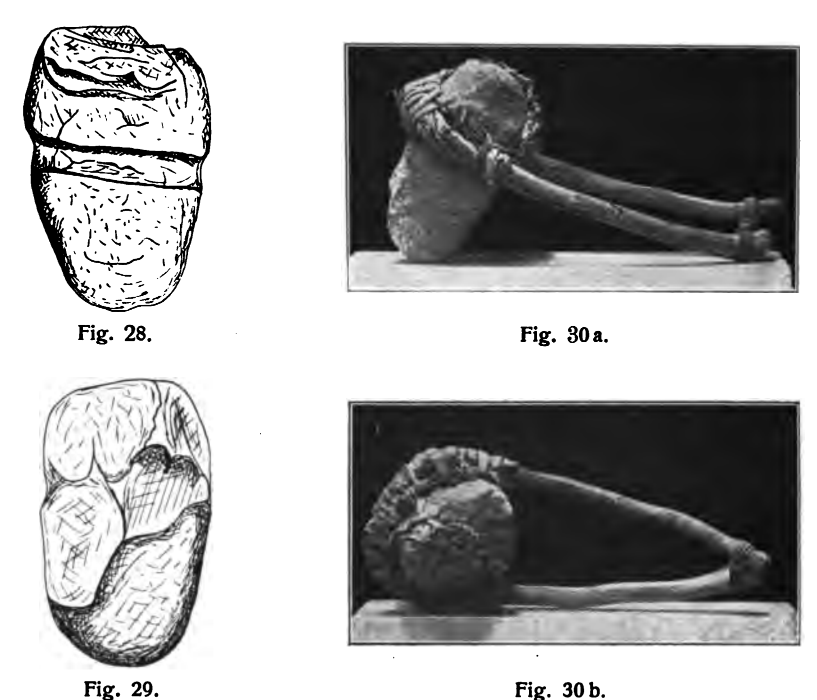


Fig. 28. Fig. 30 a.

Fig. 29. Fig. 30 b.

vor- und frühgeschichtlicher Zeit, Freiberg 1901, Craz & Gerlach, S. 16). Die Originale besitzt die Bergakademie Freiberg. Ein mit Behelmung erhaltenes Exemplar aus Chile — Chuquiquamata; Original gleichfalls in Freiberg — ist in den beiden Figuren 30 a und b dargestellt. Vom Oberen See sind sie bis zum Gewicht von 18 kg bekannt geworden (Treptow, Mineralbenutzung, S. 17).

Fig. 31.

Später wurden die Fäustel zur Aufnahme des Stieles durchbohrt. Sie kommen erst gegen Ende der Steinzeit auf, wenn sie nicht gar unter dem Einflusse metallener Vorbilder entstanden sind, analog, wie die Bestielung der Steinhämmer in der oben angegebenen Weise die Metalläxte ihrerseits insofern beeinflußt hat, als auch diese zuerst ohne Lochung benutzt, vielmehr durch Einstecken in das eine gespaltene Ende eines krummgewachsenen Astes geschäftet und dann durch Umbinden mit Schnüren festgehalten wurden (vgl. hierzu Fig. 31). Die

durchbohrten Steinhämmer tragen das Schaftloch meist etwas nach dem Rücken zu gelegen, so daß nur einseitig benutzbare Geräte entstehen. Nach den auf uns gekommenen unvollendeten Stücken und zahlreichen Bohrkernen zu schließen, geschah die Durchbohrung mit Hilfe eines hohlen Zylinders aus Horn- oder Knochensubstanz, während das eigentliche Agens feuchter und scharfer Sand war, den man während des — etwa durch Bogen und Sehne bewirkten — abwechselnden Hin- und Herdrehens zwischen den Bohrer und das entstehende Bohrloch streute.

Der bekannte österreichische Altertumsforscher Graf Wurmbrand hat seinerzeit aus zwei vertikalen Ästen, einem zur Aufnahme der Bohrvorrichtung gelochten Querast aus Hirschhorn und einer in einem vertikalen Stab verschnürten Geweihendsprosse als Bohrer, einen Apparat zusammengestellt, wie er wohl zur Ausführung dieser Bohrarbeiten gedient haben kann. Schon 1875 erbrachte Wurmbrand damit durch wiederholte Bohrungen in Serpentin und anderen Gesteinen den Nachweis der Möglichkeit der Durchbohrung von Steinsachen ohne Anwendung von Metall [1]).

Ebenso wie die Steinfäustel durch das ganze Altertum hindurch eine überraschende Formenkonstanz aufweisen, finden sich auch die metallenen Schlägel in denselben Gestalten bei Japanern, Chinesen, Ägyptern, Tschuden, Kelten, Griechen, Römern und Germanen. Sie bestehen aus Eisen, Stahl oder Bronze, bei den Tschuden aus Kupfer, und weichen in ihren Grundformen kaum von den heutigen Hammermodellen ab. Entweder sind sie beiderseits flach und dann durchweg vierkantig, sowie mit einem meist runden Stielloche versehen, so daß sie von beiden Seiten zum Treiben des Keiles oder zum Zerschlagen gebraucht werden können, oder sie sind nur auf einer Seite platt, auf der anderen aber in einer stumpfen Spitze ausgezogen, so daß sie einerseits zum Antreiben des Keiles, andererseits zum Spalten Anwendung finden können. Fig. 32 zeigt einen laurischen Berghammer, τυπίς, nach Ardaillon, Les mines du Laurion dans l'antiquité, Paris, Fontemoing, 1897, S. 21. Ein analoger Hammer ist in der alten Grube von la Baume bei Villefranche (Aveyron) gefunden worden (s. Daubrée, Revue archéol. 1881, p. 207, Fig. 5).

Fig. 32.

Im Steinbruchsbetriebe wandten die Alten glatte und gezahnte Sägen, Feilen und Steinmeißel an. Als eigentliches

[1]) Nicht unerwähnt soll bleiben, daß die Römer die steinernen Geräte als vom Himmel gefallen ansahen und sie selbst nicht zum Arbeiten benutzten, sondern mit abergläubischer Verehrung behandelten und bei Opfern und anderen religiösen Handlungen gebrauchten.

Agens benutzte man Sand beim Sägen; als die besten Sorten nennt Plinius (Hist. nat. XXXVI, 9) den »aus dem Mohrenlande und den aus Indien«[1]).

Zum Antriebe der Steinsägen — Plinius kennt sie (Hist. nat. XXXVI, 44: In Belgica provincia serra lapidem secant) aus dem belgischen Gallien — wandte man im 4. Jahrhundert Wasserkraft an; in dem Moselliede des Ausonius, in dem der Gelbis (Kyll) und der »marmore clarus Erubrus«, der durch »Marmor« (hier ist aber »Schiefer« zu lesen) berühmte Ruver gepriesen werden, heißt es unter anderem:

»Weit ist Gelbis bekannt durch edle Fische, doch an jenem,
Wo der Ceres Gestein in unaufhörlichem Schwung sich
Dreht und die knarrende Säge den glatten Marmor zerteilet,
Hört man beiden Ufern entlang anhaltend Getöse.«

Neben der Gesteinsarbeit mit dem Eisen ist die Hereingewinnung mittels Feuersetzens uralt. In den prähistorischen Gruben am Mitterberge und am Altai gleich wie in den ägyptischen Gruben, bei der Schmirgelgewinnung auf Naxos, in allen alten Römerbauen, in Frankreich, England, Ungarn, findet man durch Feuersetzen aufgefahrene Strecken, die sich zum Unterschiede von mit dem Gezähe vorgetriebenen Bauen durch einen hohen, in der Firste spitzbogenartig gestalteten Querschnitt, eine Folge der nach oben intensiver zur Geltung kommenden Flamme, auszeichnen.

Auch den Juden war das Feuersetzen bekannt, wie aus Jeremias 23, v. 29, am besten aber aus Hiob 28, v. 5, zu schließen ist. Dort heißt es: Ist nicht mein Wort wie Feuer (spricht der Herr) und wie ein Hammer, damit man die Berge einwirft? Hier aber: Ein Erdreich, darauf Speise wächst, wird unten umgewühlt vom Feuer (Vulgata: Terra, de qua oriebatur panis in suo loco, igni subversa est). Im laurischen Gebiete hat man dagegen aus mehreren Gründen kein Feuersetzen angewendet; zunächst wegen des permanenten Holzmangels, der die Griechen sogar zur Seeeinfuhr von Brennholz zum Gebrauch in den Schmelzstätten zwang, dann aber auch wegen der minder großen Gesteinshärte, welche bei einer Arbeit mit dem Eisen noch gute Resultate erzielen ließ.

---

[1]) Steinsägen sind auch von den oben bereits genannten Mediomatrikern am Odilienberge angewandt worden, woselbst gewisse, von altersher bekannte Einschnitte im anstehenden Gestein nicht, wie man früher annahm, Blutrinnen für heidnische Opfer gewesen, sondern eben dem mit Sand vorgenommenen Absägen der Blöcke ihre Entstehung verdanken (Köln. Ztg., 10. VIII. 1907).

Daß man tatsächlich nur die äußerst harten Gesteine mit Feuer angriff, erhellt u. a. aus Diodor (l. III, c. 6), wo es heißt: terram auro gravidam, ubi durissima est, igni subactam emolliunt et tum demum manuum opus adhibent; und Plinius sagt: occurrunt silices; hos igne et aceto rumpunt (Hist. nat. I, 33).

Außer aus tatsächlichen Funden kennen wir aus den alten Schriften eine Reihe von Gelegenheiten, wo man sich des Feuersetzens zur Gewinnung von Gestein bedient hat. So erzählt Cassius Dio (36, 8), daß die Mauern der böotischen Stadt Eleutherion mit Essig gesprengt worden seien. Hier könnte man allerdings, vorausgesetzt, die Mauern seien aus Kalksteinen aufgeführt gewesen, auch an eine langsame Lösung des Steinmaterials durch aufgegossenen [warmen?] Essig denken. Galenus berichtet (I, 22, 16), der Essig durchdringe Stein, Erz, Eisen, Blei gleich dem Feuer. Ähnliches sagt auch Plinius (Hist. nat. XXIII, 27) von dem Essig: Saxa rumpit infusum, quae non ruperit ignis antecedens.

Ein großartiges Beispiel von Feuersetzen finden wir endlich in der livianischen Erzählung von Hannibals Alpenübergang. Hierüber heißt es (Liv. XXI, 36 u. 37): Die Soldaten wurden beordert, einen Felsen zu ebnen, über den man unbedingt den Weg nehmen mußte; zu dem Zwecke wurden ringsum sehr große Bäume gefällt, und aus deren Ästen und Stämmen ein außerordentlich hoher Holzstoß erzeugt, den man bei einem mächtigen, die Verbreitung der Flamme begünstigenden Winde anzündete. Das durch den Brand glühend gemachte Gestein wurde durch aufgegossenen Essig mürbe gemacht, und durch das erhitzte und gebräch gewordene Gestein bahnte man mit eisernen Hauen einen Weg, der nicht nur den Lasttieren, sondern auch den Kriegselefanten einen bequemen Übergang ermöglichte.

Beiläufig erwähnt, mögen die Punier, wie auch Plinius zu tun scheint, dem Essig (oder Essigwasser, welches sie als Getränk in reichlicher Menge mit sich führten — posca —) eine besondere Wirkung beigemessen haben, sonst würden sie die heißen Felsen wohl mit dem reichlich vorhandenen Schnee resp. Schneewasser abgekühlt haben (Hoppe, Beitr. z. Gesch. d. Erfind., Heft I, 1889, Clausthal). Das Gestein riß man nach dem Erkalten mit Brecheisen herein oder trieb es mit Keilen ab; zum Anfassen noch heißer Brocken hatte man, wie aus einem 1903 bei Palazuelos bei Linares gefundenen Relief hervorgeht (Notiz Köln. Ztg., 6. Juni 1903), gelegentlich eiserne Zangen zur Hand.

Lange war ungewiß, ob den Amerikanern das Feuersetzen bekannt war. Namentlich hat man es den Kupferbergleuten des

Oberen Sees abgesprochen, da man sich mit der — angeblichen — Unbekanntschaft des Kupferschmelzens die Anwendung des Feuers zur Gesteinsgewinnung nicht hatte erklären können. Es sind jedoch nicht nur gegossene Geräte aus Kupfer gefunden worden, so z. B. eine Axt von der Form, wie sie in den mounds vorkommt, zu Auburn, Cayuga Cty, New-York (Squier, Oboriginal Monuments of the State of New-York, Washington 1849, S. 78), sondern man hat auch in den Gruben selbst Spuren des Feuersetzens entdeckt. Schmidt (Archiv für Anthropologie XI, S. 65 ff.), Rivot (Berg- und Hüttenmänn. Zeitung 1856, S. 326), Dieffenbach (ebenda 1858, S. 27) haben Mitteilung gemacht von in den Bauen gefundenen Haufen von Holzkohlen und Asche, die man nur als Reste von Feuersetzen denken kann. Nach Sir John Lubbocks »Prehistoric Times« (S. 219 ff.) brannten die Indianer Opferfeuer in vertieften Herdgruben von 5—8 Fuß Durchmesser und 10—20 Zoll Tiefe, in denen man außer Asche und Knochen viele Gegenstände des Gewerbefleißes findet, daher die Indianer leicht das Schmelzen von Kupfer lernen konnten.

In Peru finden sich (Ann. d. mines 1882, VIII. S., T. II, p. 571) sehr alte Steinbrüche auf dem Isthmus von Copacabana, die mit Feuersetzen getrieben wurden.

Als letzte der von den Alten ausgeübten Gewinnungsarbeiten sei das unserem »hydraulic mining« vollkommen entsprechende Verfahren der Hereingewinnung von Gestein durch strömendes Wasser hier erwähnt, von dem Plinius bei Gelegenheit des auf den nordwestspanischen Goldlagerstätten umgehenden riesigen Bruchbaues redet. Lassen wir dem Autor selbst das Wort: . . . »Meilenweit leitet man die Wasser über die Berge, dabei muß man das Gefälle bis zur Mündung möglichst stark nehmen, also das Wasser von den höchsten Gegenden herholen. Täler werden überbrückt und das Wasser darüber fortgeleitet. Wo zu steile, unzugängliche Felsen sind, werden sie zur Aufnahme der zum Kanalgerinne nötigen Balken und Bohlen ausgehöhlt. Die diese Arbeiten verrichtenden Leute hängen an Seilen, so daß sie von ferne nicht einmal wie ein Wild, sondern wie ein Vogel aussehen. Sie schweben in der Luft hin und her und zeichnen dem Kanal den Weg vor; ihre Hände räumen den Schutt und das Gerölle in Körben fort . . . An den obersten Abhängen der Berge legt man Teiche als Wasserreservoirs an, 200 Quadratfuß groß bei 10 Fuß Tiefe. An ihnen läßt man fünf je drei Quadratfuß große Auslauföffnungen. Sobald ein Reservoir voll ist, zieht man die Schützen und der Strom stürzt mit solcher Gewalt fort, daß er Felsen fortbewegt . . . Hierauf beginnt die Anreicherungsarbeit in der Ebene« usw.

e) Grubenausbau.

Betrachten wir nunmehr den Ausbau der Grubenräume und die Mittel zu ihrer Offenhaltung während des Betriebes. Wohlbekannt war sowohl den vorhistorischen Bergleuten, wie den Japanern, Chinesen, Nordamerikanern und den Ägyptern, den Griechen, Etruskern und Römern die Tatsache, daß die Form der Grubenräume von Einfluß auf deren Standhaftigkeit sei, deswegen finden wir ausnahmslos die Baue in der Firste gewölbeartig gehalten, so daß die Last des Hangenden vorwiegend auf die Stöße übertragen wird. Gangbergbaue und kleinere Weitungen finden sich fast ohne Ausnahme ohne eine Spur von Ausbau; in den größeren Weiten blieben Stützpfeiler stehen (μεσοχρίνεῖς, δρμοι, ὁμοερχεις, κίονες, fornices crebri montibus sustinendis), deren Aufrechterhaltung im laurischen Bergbaubezirke, wie bereits gesagt, durch Gesetz geboten war. Von einem Vergehen gegen dies Gesetz, von einem gewissen Diphilos begangen, kennen wir auch die Ahndung (aus Plutarchs Lycurg). Der Schuldige mußte den Giftbecher leeren und verlor seine ganze Habe im Betrage von 160 Talenten (fast $^{3}/_{4}$ Millionen Mark), die unter die Bürger verteilt wurden.

Die künstlichen Mittel zur Stützung des Hangenden bestehen in den Indianerbergbauen am Oberen See aus großen, oft weit hergeholten Steinen, aus denen regelrechte Pfeiler zusammengesetzt sind, je nach der im übrigen sehr wechselnden Höhe der Baue, sonst entweder aus Bergemauerungen, bei denen, wie in den etruskischen Betrieben, hinter einer Packung von groben Gesteinsstücken kleiner Schutt gefüllt wurde, oder aber aus Holzstempeln, bzw. Verbindungen von mehreren Hölzern. Holz ist als Material zum Grubenausbau während des ganzen Altertums immerhin recht selten; wohl deshalb, weil man es in der Hauptsache als Brennmaterial für die Feuersetzarbeit und die Schmelzhütten benützen mußte. Plinius erwähnt Holz als Ausbaumaterial bei seiner umständlichen Schilderung des spanischen Goldbergbaues: Tellus ligneis columnis suspenditur (Hist. nat. XXXIII, 4. 21 ff.). Einen Rest alter römischer Streckenzimmerung fand man in der Katalin-Monulestigrube im Letier Revier zu Verespatak (vgl. Pošepný, Röm. Schöpfrad in »Österr. Zeitschr.« 1877, S. 391, dgl. 1868, S. 153, 165). Die einzelnen Türstöcke standen unmittelbar aneinander; die Verbindung zwischen Stempel und Kappe geschah mittels langer am Stempel angeschnittener Zapfen, welche in Durchbrechungen der Kappe paßten. Ähnlichen Ausbau fand man in sardinischen Römergruben. Etwas hiervon abweichend sind die in den toskanischen Gruben von Selvena bei Sta. Fiora am Monte Amiata gefundenen römischen Türstöcke konstruiert

gewesen, von denen nebenstehende Fig. 33 (nach eigner Aufnahme des Verfassers) ein Bild gibt. Die Stempel sind unten zugespitzt und etwa 10 cm unter der oberen Endfläche von einem 3·5 qcm großen Loch durchbrochen, in welches die Zapfen der Rundholzkappe passen. Die Verbindung schützt mehr gegen seitlichen als gegen Firstendruck. An eben derselben Stelle fand sich auch eine größere Anzahl von Nadelholzzapfen, von denen zu vermuten ist, daß sie aus zur Verschalung hinter der Zimmerung benutzten Zweigen herstammen. Letztere sind vermodert, und nur die daranhängenden Früchte haben sich erhalten und erinnern an die »Nüsse« der Wetterauer Braunkohle, die sich ebenfalls ganz gut erhalten konnten, während die Struktur der dazu gehörenden Hölzer vollständig verloren ging.

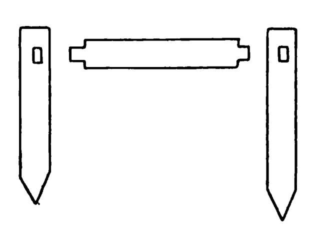


Fig. 33.

Schachtausbau findet sich nur sehr selten; wenn solcher vorhanden ist, so ist es trockene Mauerung aus groben Steinen, einige Meter von dem Mundloche an sich abwärts erstreckend. Sie diente dann zur Festhaltung der losen Schuttmassen, welche aus dem Abteufen des Schachtes gefallen waren, und welche man als Schachthalde aufgestürzt hatte. In einem von den Römern herrührenden Gesenk in der Bleierzlagerstätte des Tanzberges bei Keldenich, unweit Mechernich, fand sich ein Ausbau im ganzen Schrot, dessen einzelne Jöcher gleichfalls durch Verzapfung ineinandergefügt waren. Ähnlicher Brunnenausbau fand sich auf der Saalburg bei Homburg v. d. H.

f) Förderung.

Ebenso primitiv wie der Grubenausbau war auch die Förderung. Da in den weitaus allermeisten Fällen die Ausdehnung der metallführenden Lagerstätte das Maß für die Weite der Strecken und Baue war, so ist es erklärlich, daß die letzteren unregelmäßig sind; wer in einen solchen einfährt, kann nur gebückt oder kriechend, ja nicht selten nur auf allen Vieren voranfahren. Als Fördergefäße dienten Säcke, geflochtene oder aus Brettern zusammengesetzte Tröge, kleine Kesselchen aus Blech. Innerhalb der Strecken förderte man wohl meist durch Handreichung bis an die Mündung des Schachtes oder bis in eine größere Kammer, wo man eine Ausschlägelung vornahm. Danach füllte man das Gut in größere Gefäße, die dann entweder von Hand zu Hand durch die auf Spreizen sitzenden Sklaven herausgereicht wurden oder — in flachen Schächten — auf dem Rücken herausgetragen

werden mußten. Diese Einrichtung wird von den ägyptischen Goldgruben in gleicher Weise wie von den spanischen Silbergruben und den cyprischen Kupferbergwerken bei den Alten erzählt (Diodor III, 12, 13; V, 37; Strabo III, 148; Plinius hist. nat. XXXIII, 4. 71; Galenus de simpl. fac. VIII, S. 209 ed. Kühn; Pollux VII, 100; X. 149; Hippocrates, de vict. rat. I, 4).

Dabei bedingten die engen Strecken, welche das Passieren eines Mannes mit einer seinen Kräften entsprechenden Last nicht gestatteten, die Benutzung von jungen Leuten, oft selbst von Kindern, so daß die jedesmalige Fördermenge nicht viel mehr als 25—40 Pfund betragen haben mag.

Im laurischen Bergbaue hatte man als Fördermittel lederne Säcke, für die man die Bezeichnungen σάκκος, σάκκιον, σάκτηρ, oftmals auch θύλακος findet. Die Arbeiter namte man θυλακοφόροι, ihre Tätigkeit ἀποσάττειν, ἐκφορεῖν, φορεῖν, θυλακοφορειν, d. h. aussacken, ausschleppen. Hesychius erklärt: Θυλακοφόροι οἱ μεταλλεῖς θυλάκοις περιφέροντες τὰ χώματα καὶ πηραις (in Ranzen) ὅθιν ἐκαλουντο καὶ πηροφόροι. Heute findet man diese Förderart übrigens noch in den kleinasiatischen Silbergruben von Gümüsh-Chane, wo die Förderleute das Erz in Ziegenledersäcken wie in einer Jagdtasche herausbringen, desgleichen in Sibirien.

Besonders erwähnenswert sind aus den antiken Funden von Fördergerätschaften zwei gleichgearbeitete Tragsäcke aus dem Hallstätter Salzbergbau, die sich im k. k. Hofmuseum zu Wien befinden, und von denen die (aus Treptow, Mineralbenutzung, Freiberg 1901, entnommenen) Figuren 34a u. 34b ein Bild geben. Sie sind 0,77 m lang und aus rohen, nicht enthaarten Rindsfellen in der Weise hergestellt, daß ein 1,64 m langes, an den Enden 0,5 m breites, an der Mitte etwas schmäler geschnittenes Stück eines großen Rindsfelles mit nach außen gewendeten Haaren der Länge nach zusammengelegt ist. Die zwei offenen Längsseiten sind mit einem etwa 10 mm breiten Riemen so durchflochten, daß sich ein nach oben erweiternder Sack bildet. Unterhalb des oberen Randes sind behufs Verstärkung zwei Fellstücke aufgenäht, das am Rücken

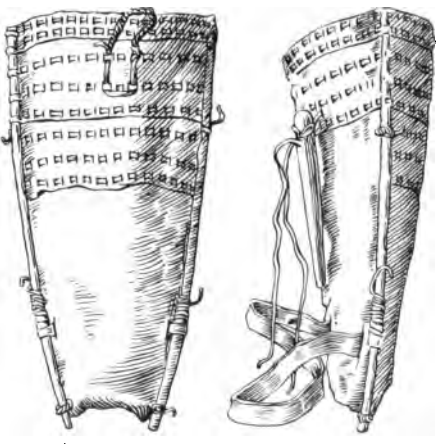


Fig. 34a. Fig. 34b.

anliegende mit drei, das breitere der Außenseite mit sechs eingeflochtenen Riemen. Am Rande des Sackes ist das Leder 5 cm breit umgelegt und durch zwei eingeflochtene Riemen befestigt. An die Längsnähte des Sackes sind mittels Riemen zwei etwas gebogene, an mehreren Stellen zwecks Befestigung durchlochte Rippen aus Eschenholz befestigt, welche oben und unten etwas herausragen. Zum Tragen des Korbes dient ein 6 cm breites, 1,20 m langes Lederband, welches unten in 10 cm Höhe durch das Leder gezogen und dann beiderseits dreimal um die Rippen gewunden ist. Da dieser um die Brust und eine Schulter gelegte Riemen zum sicheren Tragen nicht ausreichte, so ist am oberen Sackrande eine 0,4 m lange Tannenholzhandhabe angebracht. An dieser konnte der Sack im Gleichgewichte gehalten werden, während einfaches Loslassen der Handhabe ein Umkippen und Rückwärtsentleeren alsbald zur Folge hatte.

Konnte man diese Säcke am besten in flachen Schächten zum Tragen anwenden, so mußte man, um größere Massen auf ziemlich ebener Sohle fortzuschaffen, Schlepptröge anwenden, die entweder geflochten oder aus Brettern zusammengesetzt sind.

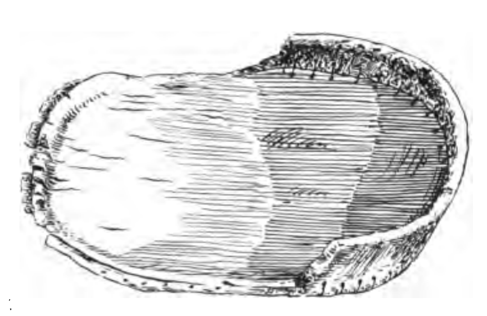


Fig. 35.

Ein zu El Aramo in Asturien gefundener Trog ist in Fig. 35 dargestellt (nach Treptows zit. Arb.). Er besteht aus einem ovalen Boden, an dem mittelst hölzerner Nägel ein niedriger Rand befestigt ist. Auch Reste eines Ledergriffes zum Schleppen finden sich daran.

Hinsichtlich des Massentransportes im Schachte kann man im Altertum zwei verschiedene Methoden unterscheiden. In vielen Fällen sind die Massen durch auf Spreizen sitzende Sklaven herausgereicht worden, in anderen muß man sich auch des Seiles in oder ohne Verbindung mit Haspeln bedient haben. Die Schächte der ersteren Art charakterisieren sich durch einander gegenüberstehende Gesteinslöcher, die den Sitzspreizen als Lager dienten und meistens in Entfernungen von nur 1,0—1,2 m übereinander ausgehauen sind. Bei Seilschächten fehlen indes diese Spuren; meist sind die Stöße ohne jedes Anzeichen eines Einbaus: in seltenen Fällen kann man die Einfuhren für die Wellen von Seilleitrollen bemerken, fast stets aber zeigt der obere Rand des Schachtes mehr oder weniger tiefe, vom Seil im Laufe der Zeit eingeschnittene Furchen. Man hat in solchen Fällen wohl Pferde oder

andere Tiere zum Seilziehen angewendet. In solchen Fällen hat man anscheinend manchmal Strecken- und Schachttransport miteinander in einer allerdings sehr primitiven Art vereinigt, indem man das zu fördernde Gut unmittelbar am Ort der Einfüllung in das Fördergefäß — Sack oder Trog — ans Seil schlug und dann zutage zog. Heute findet man diese Art der Förderung noch bei dem Herausbringen großer Basaltblöcke aus den unterirdischen Brüchen bei Mayen und Niedermendig, in einer Industrie, die überhaupt manche archaistische Formen bewahrt hat.

Die Ägypter wandten Seile aus Baumwolle, die Phönizier solche aus Flachs beim Bau der Brücke des Xerxes über den Hellespont in Verbindung mit Drehwinden an (Herodot VII, 36); aus dem Buche Hiob kennen wir Andeutungen über die Anwendung des Seiles (Kap. 28, Vers 4): »Gänge bricht man fern von den Angehörigen, von dem Fuß vergessen, hängen sie, fern von Menschen wanken sie.«

Nach Diodor (II, 2, 15) wurden zu Persepolis besondere Maschinen — Haspel — benutzt, um die Särge der Könige in die hoch im Felsen gehauenen Gräber zu schaffen.

Aus dem Bauwesen kennt Vitruv u. a. auch den Kreuzhaspel, sucula, den man mit Hilfe von vier Hebeln, rectis, bewegte, und es ist wohl anzunehmen, daß man diese Maschine, die genannter Autor (Arch. X, 8) in Verbindung mit Seil und fester Rolle geradezu als Fördermaschine bezeichnet, auch im Bergbau angewendet habe.

Schon die vorgeschichtlichen Bergleute in El Aramo und auf dem Mitterberge müssen den Haspel gekannt haben; denn am ersteren Orte zeigten mehrere gänzlich leere Schächte an den Stößen Seilspuren, und am Mitterberge fand sich (s. Much, Das vorgesch. Bergwerk, S. 13) ein Exemplar eines solchen in der halben Höhe eines Schachtes. Er lief mit seinen Achszapfen in zwei in den Felsen eingeklemmten Lagern aus Holz und zeigte noch deutlich die Treibspeichen.

In mehreren vorrömischen Schächten bei Agrigent fanden sich gleichfalls Spuren des Heraufziehens von Steinen an den Stößen (Holm, Gesch. Siziliens, I, S. 140), und in den alten Bleigruben Toskanas waren in den kaum 1/2 m im Quadrat messenden Schächten (nach Haupt in Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1856, S. 88) etwa alle 10 m im Gestein die Löcher zu sehen, welche die Achsen der dem Seil als Führung dienenden Rollen getragen hatten.

Einen Kreuzhaspel fand Verfasser bei Selvena am Monte Amiata in — mutmaßlich — etruskischen Bauen. Die Treibspeichen waren tangential in trapezförmigen Einschnitten durch Keile befestigt.

Über Tage transportierte man Lasten nach der einen oder anderen der im folgenden angegebenen Methoden.

Zum Fortschaffen großer Steinblöcke bediente man sich hölzerner Walzen, die von Pollux als λιθουλκοί, von Plinius (Hist. nat. XXXV, 15) als extempores, von Paullus Silentiarius als δουρατέος κύλινδρος bezeichnet werden.

Auf den Gebirgshängen wurden die Lasten nach Strabo (XI, 43) in der Weise zu Tal geschafft, daß sich Schlepper und Last auf ledernen Schleppen (Felle, Säcke) heruntergleiten ließen, in derselben Weise, wie es bis vor kurzem nach am Erzberge in Steiermark der Fall war — Sackzüge —. Strabo kennt diese Art zu transportieren aus dem Kaukasus, aus Media Atropatene und vom Berge Masius.

Des Transportes auf Tieren soll hier nur beiläufig gedacht werden. Ferner sei anhangsweise erwähnt, daß man gelegentlich zum Fortschaffen schwerer Gegenstände auf ungünstigem Grunde künstliche Gleise anlegte. So berichtet E. v. Lasaulx (Untergang des Hellenisums, Münster, 1854, S. 47, nach anderen Quellen), daß Konstantin der Große, als er den aus Theben stammenden Obelisken von 100 Fuß Höhe von Rom von Konstantinopel bringen ließ, den Monolith am Sophientore auf einem mit Eisenschienen belegten Wege über das weiche Terrain habe transportieren lassen.

Daß man im alten Ägypten vor dem Aufbau der Pyramiden Pflasterstraßen anlegte, um die großen Bausteine besser fortbringen zu können, sei hier nur angedeutet.

g) Fahrung.

In den mäßig einfallenden Strecken dienten zur Fahrung, sobald die glatte Sohle nicht mehr den erforderlichen Halt bieten konnte, Treppenstufen, die im Sohlengestein ausgehauen waren; in den steilen Bauen fuhr man entweder auf Steigbäumen oder auf Leitern.

Die alten Japaner benutzten mit Kerben versehene Rundholzsteigbäume, deren Gestalt Fig. 36 (nach Netto [1]) zeigt.

In Minnesota fand sich in einer vorcolumbischen Indianergrube ein Baum, dessen Äste kurz abgehauen waren, als Steigbaum (Schmidt im Arch. f. Anthrop. XI, S. 65).

Auch in der Katalin-Monulestigrube bei Verespatak hat sich ein Steigbaum gefunden (Pošepný a. o. a. O.).

[1]) Über japanisches Berg- und Hüttenwesen. Mitteil. d. dtsch. Ges. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens. II. 1879, S. 367. Mit 2 Tafeln.

Die antiken Fahrten unterscheiden sich in nichts von den heute üblichen Formen; auf der in Fig. 37 dargestellten Reproduktion einer jener bei Korinth gefundenen Tontafeln, die sich heute zum größten Teile in Berlin, zum geringeren in Paris und London befinden, und von denen eine Auslese in dem vom Kgl. Archäol. Institute herausgegebenen Prachtwerke »Antike Denkmäler« enthalten ist, ist auf der linken Seite eine Leiter angedeutet.

Nicht selten, namentlich in römischen Gruben, hat man größere Abschnitte von Schächten voll-

Fig. 36.

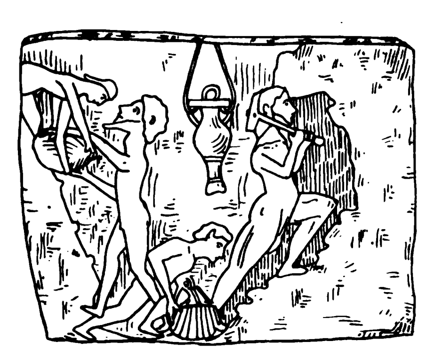


Fig. 37.

kommen ohne jede Spur von Ein- oder Ausbau gefunden. Dies geschah nur zu dem Zwecke, ein Entweichen der in den Bauen angelegten Sklaven zu verhindern. Bei einem feindlichen Überfalle entflohen dann vielleicht die Aufseher, unbekümmert um das Los der Sklaven.

h) Beleuchtung.

Zur Beleuchtung bediente man sich hölzerner Späne, bei Chinesen und Japanern solcher aus geklopftem Bambus, kleiner Reisigbündelchen, mit Tierfett getränkt oder mit fettgetränkten Fellstreifen umwunden, endlich auch tönerner oder metallener Öllampen. In den verschiedenen antiken Grubenbezirken sind viele der letzteren gefunden worden; sie sind bis auf eine oder zwei Öffnungen (zum Füllen und zum Dochtauslaß) ringsum geschlossen, im allgemeinen etwa 10 cm lang und etwa 7 cm im Lichten weit. In China und Japan benutzte man auch Schneckengehäuse, die mit Öl oder Fett gefüllt waren. Römische Grubenlampen zeigen die Figuren 38 und 39. Sie wurden entweder in Nischen des Stoßes aufgestellt oder aber vor der Stirn getragen (Diodor III, 12, 6). Letztere Art der Beleuchtung hat Veranlassung zu der Sage von den einäugigen Menschen (Arimaspuer bei

Herodot, Polyphem bei Homer usw.) gegeben. Größere Kammern hat man auch, nach dem eben erwähnten korinthischen Weihetäfelchen (siehe Fig. 37) zu schließen, durch von der Decke herabhängende Lampen beleuchtet. Als Leuchtmaterial diente wohl zumeist aus Pflanzen ausgepreßtes Öl. Ausdrücklich bezeugt dies Strabo (XVII, 321) von den Ägyptern; diese säten nach seinem Zeugnisse eine mit dem Namen Kiki belegte Frucht, deren Öl sich fast alle Landeseinwohner



Fig. 38. Fig. 39.

zum Brennen in den Lampen bedienten, das aber von den ärmeren Leuten auch zum Salben benutzt wurde.

Daß man gelegentlich auch Petroleum als Leuchtstoff benutzt habe, dürfen wir bei der allgemeinen Bekanntschaft des Altertums mit diesem Stoffe und seinen Verwandten ruhig annehmen; berichten doch z. B. Dioscorides (I, 99) und Plinius (XXXV, 51) von der Benutzung des als πίττασφαλτος, bitumen pissasphaltum, benannten Materials ausführlich. Übrigens scheint man nach den von Plinius über den bereits mehrfach zitierten spanischen Bruchbau beigebrachten Notizen in manchen Fällen die Arbeit im Finstern verrichtet zu haben (multisque mensibus non cernitur dies), wenigstens aber bei der von Hand zu Hand bewerkstelligten Haufwerksförderung.

i) Wetterversorgung.

Im allgemeinen waren die Vorkehrungen der Alten zur Wetterbeschaffung und Wetterverteilung in den Gruben ziemlich primitiv. Maschinelle Einrichtungen waren ihnen durchaus unbekannt, so daß man nur auf die natürliche Bewegung der Luft auf Grund von Temperatur- oder Höhenunterschieden angewiesen war.

Berücksichtigt man, daß sehr viele antike Gruben mehrere Dutzend Meter tief hinabgingen — die laurischen Gruben sind vielfach mehr als 50 m tief, im oberen Elsaß sind die Römerbaue bis auf 200 Toisen (flach gemessen), in Spanien nach Diodorus und Strabo bis auf viele Stadien flache Länge vorgedrungen; Gobet (I, p. 187) kennt aus Asturien und den Pyrenäen Römerbaue, die bis 1400 Fuß flachgemessene

Tiefe hatten; zu Wiesloch beläuft sich die Gesamtlänge aller unterirdischen Strecken auf mehrere Kilometer —, so begreift man, daß die Luft in der Grube recht wenig bewegt werden konnte, wenn man nicht durch eine große Anzahl von Schächten einen kurzen und einfachen Wetterweg schuf. Im laurischen Grubenbezirke scheint geradezu stets ein Zentralschacht einer Anzahl von um ihn liegenden Förderschächten als Wetterschacht gedient zu haben (Kordellas, Le Laurium S. 84, 85). Einzelne Förderschächte besaßen außerdem noch schmale Nebenschächte von 60—80 cm Weite als Luftschächte, ψυχαγώγια (vgl. Strabo III, 147); von den Römern werden diese als aestuaria bezeichnet.

Die Fahrbarkeit eines Schachtes prüfte man nach Plinius (hist. nat. XXXI, 28) durch Hinablassen einer brennenden Lampe: Experimentum periculi est demissa ardens lucerna, si extinguatur. Vor Ort suchte man den Wetterzug durch Schwingen von Leinentüchern zu verbessern (Plinius, l. c.: Fit . . . altitudine ipsa gravior aes, quem emendant assiduo linteorum jactatu eventilando: Die Luft wird mit der Tiefe schwerer; man verbessert sie durch dauerndes Schlagen mit Tüchern). Namentlich in den vom Feuersetzen erhitzen Bauen, in denen sehr viel »vapor et fumus« vorhanden war, wird man dieses Hilfsmittels nicht haben entraten können, um die ohnehin schon wenig beneidenswert gestaltete Arbeit nicht noch mehr zu erschweren. Daß man gelegentlich durch die primitiven Ventilationsmittel nicht viel erzielte, geht am schärfsten aus der von Strabo gegebenen Schilderung der kleinasiatischen Arsenikgruben von Sandaracurgium bei Pompejopolis (bei den heutigen Flüssen Kyzyl Irmak und Jeschil Irmak) hervor. (Strabo XII, 40, 841.) Hier war nicht nur die Arbeit sehr mühselig, sondern die Arbeiter »starben auch wie die Fliegen dahin, vor den aus dem Gebirge aufsteigenden Dünsten«.

Es waren dort mehr als 200 Arbeiter angelegt, die aber binnen kurzem immer wieder durch neue ersetzt werden mußten.

Allerdings mag diese Grube auch wohl einzig hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Verhältnisse dagestanden haben; denn man wußte den Vorzug eines guten Wetterwechsels sehr wohl zu würdigen und erkaufte ihn unter Umständen selbst mit der Herstellung eines zweiten Schachtes, wie Vitruv (VIII, c. 7) angibt. Es heißt hier: »Beim Brunnengraben strömen die giftigen Dünste hervor und belästigen die Arbeiter, die, wenn sie nicht schnell flüchten, ihnen erliegen. Man läßt zum Erkennen der schlechten Wetter eine brennende Lampe in den Schacht, der, wenn die Lampe brennend bleibt, ohne Gefahr befahren werden kann. Verlöscht aber das Licht, so gräbt man einen zweiten Schacht, mit dem man den Dunst verjagt.« Nach dieser Schilderung

von Carthagena hat man mit Pech gedichtete Espartograskörbe zum Wasserheben am Seile gefunden (Rev. archéolog. 1868, S. 268).

Neben diesen einfachen Maschinen, von denen nur die zuletzt erwähnte imstande war, das Wasser auf bedeutendere Höhen zu wältigen, kamen im Altertum auch kompliziertere Wasserhebeapparate zur Anwendung, nämlich die Schneckenpumpe (cochlea), die Becherwerke oder Kannenkünste, die Wasserräder und die verschiedenen Arten von Saug- und Druckpumpen, unter denen namentlich die des nach Plinius (hist. nat. VII, 38) durch die Erfindung von Luft- und Wasserdruckapparaten berühmten Ctesibius, der, ein Sohn eines Barbiers, zur Zeit des Ptolemäus Philadelphus lebte, unsere Aufmerksamkeit erregt.

Die Erfindung der Schneckenpumpe schreibt Diodor (I, 24; V, 37) dem Syrakusaner Archimedes zu; andere behaupten, ein Freund des Archimedes, Conon aus Samos, der lange zu Alexandrien lebte, habe sie erfunden. Wahrscheinlicher ist, daß Archimedes den Apparat bereits in Ägypten vorgefunden und in Griechenland allgemein bekannt gemacht hat. Vitruvius schildert ihre Herstellung folgendermaßen (vgl. l. X, 6): »Man nimmt einen Balken von so viel Zoll Dicke, als er Fuß Länge hat und schneidet ihn genau zylindrisch. Auf den Endkreisen bringt man nun Teilungen in vier bzw. acht Teile an, welche in ihren Teilungslinien genau korrespondieren; dann werden senkrecht zu den Grundflächen Linien von einem Stirnkreise zum anderen gezogen und auf ihnen Achtel jener Kreislinie aufgetragen. So entstehen auf dem Zylindermantel in der Quere und Höhe gleichgroße Räume. Auf den Längslinien sind nun in der Spirallinie umlaufend weitere Punkte bestimmt. Dann nimmt man eine dünne Rute aus Weide oder (wildem) Wein, taucht sie in flüssiges Pech und befestigt sie am ersten Punkte der rundumlaufenden Teillinie. Darauf legt man dieselbe schräg auf und führt sie über die einzelnen Schnittpunkte der Längs- und Querlinien, so daß das Ende wieder auf der gleichen Mantellinie wie der Anfang liegt. Genau ebenso werden über die anderen Teilungen hinweg ähnliche Ruten in der Spirallinie herumgelegt, so daß gleichsam Kanäle in genauer Nachbildung einer Schneckenschale entstehen. Über den vorhandenen Ruten werden dann noch andere festgemacht, die auch in flüssiges Pech getaucht sind, so lange, bis die gesamte Dicke dem achten Teile der Länge gleichkommt. Darüber werden nun Bretter befestigt, welche die Gewindegänge überdecken; diese werden ebenfalls mit Pech bestrichen und mit eisernen Bändern umgeben, damit nicht die Gewalt des Wassers sie losreiße. An den Stirnenden des Balkens werden eiserne Zapfen angebracht, rechts und links von der Schneckenwelle stellt man (Lager-)Balken auf, die oberhalb jederseits durch Querbalken

miteinander verbunden sind. In diesen befinden sich mit Eisen ausgelegte Öffnungen, um obige Zapfen aufzunehmen. Die Neigung der Achse der Schneckenwelle wird nun so bemessen, daß (von der durch den oberen und unteren Zapfen gelegten Lotrechten bzw. Horizontalen) ein pythagoreisches rechtwinkliges Dreieck gebildet wird. Wenn man nämlich die Balkenlänge in fünf Teile zerlegt, so erhebt man das eine Ende des Wellenstumpfes und drei Teile dieses Maßes. . . . . In Bewegung gesetzt wird die Schnecke dann durch Treten seitens einer Anzahl von Arbeitern.« Wegen der nur geringen Hubhöhe dieser Maschinen mußte man deren mehrere übereinander anordnen, wodurch man eine große Anzahl von Arbeitern nötig hatte, da man in der Grube nicht, wie vielfach über Tage, von Zugtieren betätigte Göpelwerke zum Umtreiben benutzen konnte.

Ebenfalls nur für geringe Hubhöhen verwendbar war die bei den Chinesen gebrauchte Kettenschaufelpumpe, welche an den Gelenken einer endlosen Kette Schaufeln besaß, die sich in einer schwach geneigten, ins Wasser eintauchenden Rinne nach oben bewegten und das Wasser in ein Sammelbecken hoben.

Weiter beschreibt Vitruvius ein Kettenbecherwerk (eine »Kannenkunst«) für viel größere Hubhöhen (l. X, c. 9) wie folgt: Soll das Wasser an bedeutend höhere Punkte geliefert werden, so schlingt man um die Welle eines Tretrades ein eisernes Kettenpaar (duplex ferrea catena), welches so eingerichtet ist, daß es bis unter den Wasserspiegel hinabreicht und angehängte Bronzeeimer trägt (habens situlos pendentes aereos congiales), die etwa einen congius — 1 congius = 6 sextarii = $^1/_8$ amphora, etwa 3,28 l — fassen. Dann wird die Drehung des Rades dadurch, daß die Doppelkette sich um die Welle herumlegt, die Eimer nach oben bringen, wobei sie, umgestürzt, ihren Wasserinhalt in einen Sammelkasten entleeren.

Außerdem bediente man sich seit uralter Zeit der Wasserräder zum Heben von Grubenwasser. In Mesopotamien und Ägypten dienten sie im Anfang zur Bewässerung der Ländereien, wurden dann aber auch beim Bergwesen benutzt[1]). Bemerkenswert sind einige Sätze aus Vitruvius ausführlicher Beschreibung der Herstellung: »Es wird dazu eine Achse entweder auf der Drehbank bearbeitet oder nach dem Zirkel behauen; an den beiden Enden werden Eisenbeschläge angebracht. Man zimmert rings um die Welle ein Rad und befestigt seitwärts herum kubische Kästchen, die mit Pech und Wachs gedichtet sind — modioli quadrati pice et cera solidati —. Wenn dann das Rad von

---

[1]) Erwähnt sei, daß das Schöpfrad ein symbolisches Zeichen hohepriesterlicher Würde bei den Juden war.

den Tretern bewegt wird, so werden die gefüllten Kästchen nach oben kommen, wo die sich in den Sammelkasten entleeren.« Diese Wasserräder hießen τύμπανον[1]. Beiläufig sei hier erwähnt, daß auch das Zahnradgetriebe und das (schräg oder vertikal stehende) zu beliebigem Zwecke angewendete Tretrad denselben Namen führten, der ursprünglich eine Pauke sowie ähnliche Schlaginstrumente bedeutet, dann aber auf ähnlich gestaltete Apparate übertragen wurde.

Ein anderes »Tympanon« der Alten bestand aus einer um eine horizontale hohle Achse drehbaren Zylindertrommel, welche durch Längsscheidewände in mehrere Abteilungen geteilt war und gewissermaßen als ein Schöpfrad mit bis zur Achse sich erstreckenden Gefäßen aufzufassen ist. Das Wasser tritt an dem unteren eingetauchten Teile des Trommelmantels ein, wird im Laufe der Drehung des Tympanon etwa bis auf die Höhe der Achse gehoben, fließt dann auf den Scheidewänden wie auf schiefen Ebenen der hohlen Achse zu und verläßt hier den Apparat.

Von Wasserrädern, welche den in unseren Tagen wieder zur Wasserhebung gebauten Rädern analog konstruiert sind, hat man Exemplare in Gruben von San Domingos und von Verespatak gefunden, die von Pošepný beschrieben worden sind (»Österr. Zeitschr.« 1868 und 1877). Das zu Verespatak in Fragmenten gefundene Rad, von welchem nebenstehend ein Bild gegeben wird (Fig. 41), hatte 24 Schaufeln; jede Schaufel bestand aus einem am äußeren Rande etwa 25 mm, am Zapfen etwa 38 mm starken, rund 160 mm breiten Buchenholzbrette. 25 bzw. 175 mm vom äußeren Kranzende enthielt das Schaufelblatt 12 mm breite und 6 mm tiefe, mit der Säge ausgearbeitete Rinnen; an den Schaufelseiten waren je drei kantige, 2 Zoll tiefe Nagellöcher vorhanden. Der im ganzen 1,46 bis 1,48 m lange Schaufelarm war am Zapfen 70—75 mm dick, am unteren Schaufelende aber 55 mm. Die Seitenabgrenzung der Schaufeln wurde durch zwei 1/3—1/2 Zoll starke Buchenbretter in

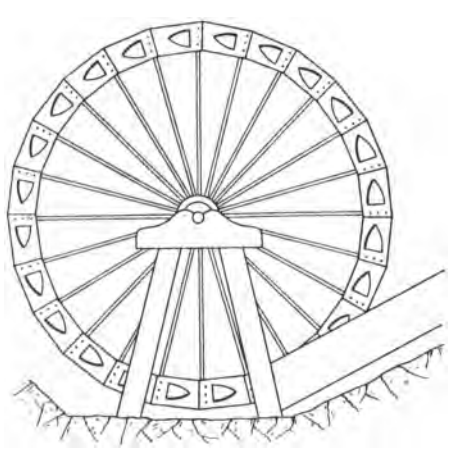
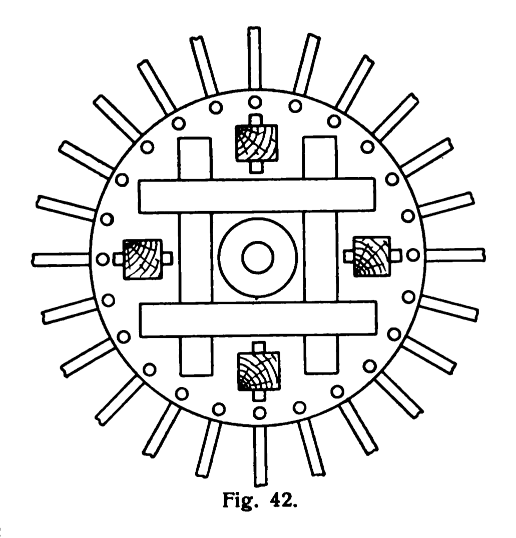


Fig. 41.

[1]) Gebräuchlichere Form statt τύπανον von τύπτω.

Bogenform, die mittels Überblattung aufeinandergepaßt und zusammengenagelt waren, gebildet. Diese Brettchen hatten jederseits einen dreieckigen Ausschnitt. Den äußeren und inneren Kammerboden bilden zwei in die Schaufelblattrinnen eingelegte Buchenbretter von 0,5—0,6 Zoll Dicke. Die Radwelle war 1 m lang, in der Mitte zirka 30, am hölzernen Zapfen zirka 12,5 cm stark; der Zapfen selbst war bei 12,5 cm Länge nur 5 cm stark; die Schaufelstiele saßen mit etwa 2,5 cm Fleischzwischenraum in der Welle, die in ihren Zapfen durch zwei dreiseitig behauene auf divergierenden Stützen gelagerte Balken unterstützt wurde. Das insgesamt 100 kg schwere, mit Ausnahme der Nägel gänzlich aus Holz konstruierte Rad hatte einen Durchmesser von etwa 3¹/₃ m; es stand etwa 1 m unter der Sohle der zunächst liegenden Strecke. Ein Ausflußgerinne wurde nicht mehr vorgefunden. Bewegt wurde das Rad ausschließlich durch die Kraft der Arbeiter.

Das Modell eines Heberades aus der Kupfergrube San Domingos, in der Nähe des Zusammenflusses des Chança und Guadiana, war nach Pošepný auf der Weltausstellung in Philadelphia rekonstruiert ausgestellt. Im großen und ganzen war die Konstruktion der in den spanischen Römerbauten gefundenen Heberäder — es sind im ganzen acht große von je 4,875 m Durchmesser und zwei kleinere von je 3,66 m Durchmesser gefunden worden — der des Verespataker Rades ähnlich, nur waren die Stiele der 24 Schaufeln aus zwei Sparren gebildet, die nach Fig. 42 mittels Quernägel an zwei auf der Achse befestigten hölzernen Scheiben angebracht waren. Die zum Wasserableiten vorhandene Rinne lag etwa 3³/₄ m über dem Wasserspiegel des Zuführungsbaues so daß der Effekt der Hebung nur etwa 76 % des theoretisch möglichen betragen konnte. Auch in Tharsis, Rio-Tinto und im alten Mann des Michaeliganges unter dem (römischen) Annastollen in Ruda (Siebenbürgen) hat man solche Heberäder gefunden, die alle dem ersten bis vierten nachchristlichen Jahrhundert angehören.


Fig. 42.

Ebensolche Räder benutzte man etwa seit dem ersten vorchristlichen

Jahrhundert zum Umtreiben der Mühlsteine, und es ist wohl anzunehmen, daß man sich ihrer auch gelegentlich zum Antrieb der Aufbereitungsmühlen bedient habe, ebenso wie man (siehe oben) sie bei der Zerteilung der Schieferplatten zum Antrieb der Sägen benutzte.

Endlich kannte man im Altertum eine Reihe von Pumpen. Wann und von wem die gewöhnliche Saugpumpe erfunden worden ist, kann nicht festgestellt werden; wahrscheinlich war sie aber bereits

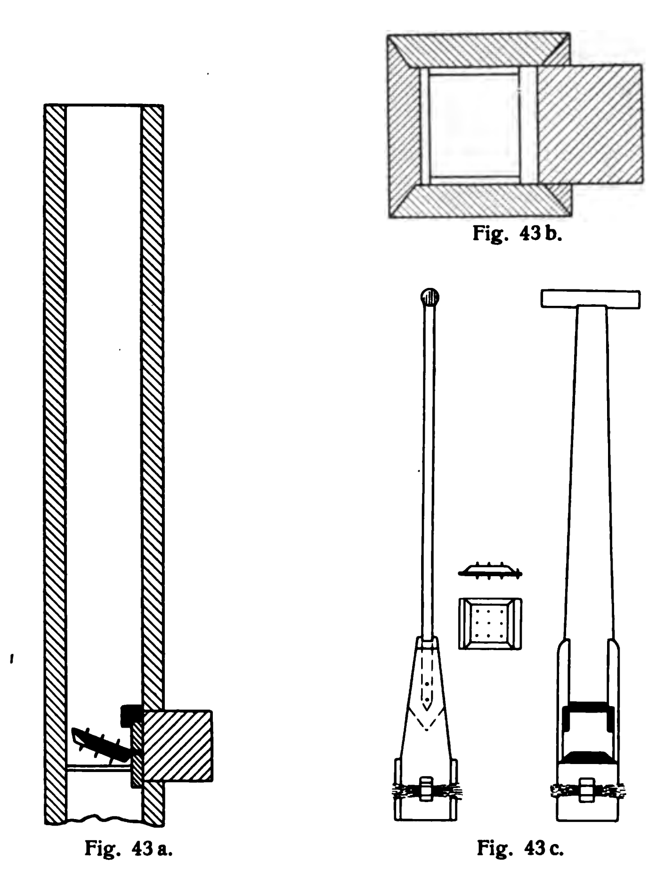


Fig. 43 b.

Fig. 43 a.

Fig. 43 c.

im alten Ägypten in Anwendung. Bei Aristophanes wird eine antlia erwähnt; es scheint, nach Martials Äußerungen zu urteilen (»Die antlia ist eine Maschine, um Wasser aufzuziehen«), eine einfache Saugpumpe gewesen zu sein. Daneben geschieht eines als »siphon« bezeichneten Apparates Erwähnung, der aber auch andere Vorkehrungen als Pumpen zum Heben und Ausgießen von Wasser bezeichnet. Daß »siphon« eine Saugpumpe bezeichnete, geht aus mehrfachen Äußerungen der Alten hervor. So lehrten die platonischen

Philosophen, daß die Seele an den Freuden des Himmels teilnehmen solle, »wie durch einen sipho«; Theophrast erklärt durch den sipho das Aufsteigen des Marks in den Knochen und Columella das des Saftes in den Bäumen. Plinius erwähnt siphones (hist. nat. XIX, c. 4), mit welchen man Gärten bewässerte, und an anderer Stelle (hist. nat. XVI, c. 42) nennt er das Holz der Fichte, Tanne und Erle besonders gut zum Bau von Pumpen und Wasserleitungsröhren, die man durch Ausbohren der möglichst geraden Stämme herstellte. Es ist anzunehmen, daß solche Apparate, weil sie sehr gewöhnlich waren, auch in den Gruben zur Wasserhebung Anwendung fanden.

Auch die alten Japaner haben sich derselben bedient; nach Netto (a. a. O., II, S. 372, 1879) besteht die noch bis heute in unveränderter Form erhaltene Vorrichtung, von der Fig. 43 eine Darstellung gibt[1]), aus einem prismatischen, oben und unten offenen hölzernen Kasten von zirka 3½ m Länge und etwa 12·12 qcm lichter Weite, in dessen unterem Teile ein sich nach innen öffnendes Klappenventil eingesetzt ist. In diesem allenthalben gedichteten Kasten wird ein entsprechend großer, mit Stroh und Leder gedichteter Kolben mittelst Kolbenstange unmittelbar von Hand bewegt. In flachen Schächten sind die von je ein Mann bedienten Pumpen untereinander eingebaut; die untere hebt in den Saugkasten der nächst oberen; die vertikale Hubhöhe beträgt etwa 1,2—1,9 m, der Kolbenweg etwa drei Fuß, die Menge des pro Hub gehobenen Wassers etwa 5 shio = 9 l.

Den Übergang von diesen Apparaten zu der dem Ctesibius zugeschriebenen, von Plinius (hist. nat. VII) und Vitruv (de arch. X, 7) erwähnten und mit einem Windkessel ausgerüsteten Pumpe bildet gewissermaßen die von Vegetius erwähnte Blasebalgpumpe, bei welcher behufs Vermeidung von Stößen in den Leitungen und zur Erzielung eines möglichst gleichmäßigen Wasserausflusses ein Ledersack mit einer abgeschlossenen Menge Luft in die Leitung eingeschaltet war. Auch sie paßte nur für geringe Höhen.

Für größere Höhen und Wassermengen war die angeblich um 150 v. Chr. von Ctesibius in Alexandria erfundene Druck- und Saugpumpe eingerichtet. Von ihr berichtet Vitruvius (l. X, c. 7) folgendes:

»Diese Maschine (Fig. 44) besteht aus Bronze und besitzt zwei gleichgebaute vertikale Pumpenzylinder, die nicht weit voneinander abstehen (*a*) und durch zwei sich mitten vereinigende Abzweigungen (*c*) in den Windkessel *d* einmünden. In dem Windkessel bringt man Ventilklappen (*e* — Druckventile —) an der oberen Mündung der

[1]) Fig. 43 b im 1½fachen Maßstabe von Fig. 43 a und 43 c.

Verbindungsröhren an, welche genau anschließen und das, was der Luftdruck in den Windkessel gepreßt hat, nicht mehr zurücktreten lassen. Oben schließt sich an den Windkessel eine einem umgestülpten Trichter ähnliche Klappe an, die durch eine Art Klammer, deren Zusammenhalt ein Keil bewirkt, mit jenem zusammengeschlossen wird, damit nicht die Gewalt des Wassers sie aufzuheben vermag. Daran schließt sich die senkrecht in die Höhe führende sogen. Steigröhre an. In die Pumpenzylinder aber sind unter der Sohle der horizontalen Verbindungsrohre Ventile (*g*) auf die am unteren Ende angebrachten Saugrohre (*h*) aufgesetzt.

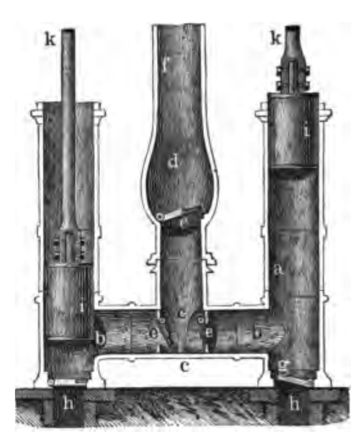


Fig. 44.

Werden nun von oben her die massiven, gedrehten und mit Öl geschmierten Kolben, die genau in die Pumpenzylinder passen, mittelst Kolbenstangen und Hebeln in Bewegung gesetzt, so drücken sie in beiden Zylindern abwechselnd auf die mit Wasser dort eingeschlossene Luft, schließen die Ventilklappen an den unteren Öffnungen (*g*) und drängen durch die Luftpressung das Wasser durch die Mündungen der Verbindungsröhren in den Windkessel, von welchem es in die Klappe steigt und durch den Luftdruck durch das Steigerohr in die Höhe getrieben wird.«

Eine solche Pumpe hat man (nach Beck, Geschichte des Eisens, I, S. 579) in den Ruinen von Castrum novum gefunden; bei ihr wird die Wirkung des Druckes und der Elastizität der Luft in ingeniöser Weise vereinigt zur Anwendung gebracht.

l) Tiefbohrwesen.

Äußerst wenig nur wissen wir von einer von den Alten nachgewiesenermaßen ausgeübten Industrie, die mit unserer Tiefbohrung zur Erbohrung von Wasser, Sole oder Erdgas zu vergleichen wäre. Seit undenklichen Zeiten bilden die am Wüstensaume wohnenden Araber Innungen für die Brunnenbohrkunst. Sie haben den sog. artesischen Brunnenbau von den Ägyptern gelernt, von denen bereits Olympiodorus angibt, daß sie gebohrte Brunnen von 2—300, ja bis 500 Ellen Tiefe hätten, welche das Wasser über der Erdoberfläche ausgössen, wo man es als Berieselungswasser

für die Ländereien verwende. Die großen Oasen von Theben und Dachel sind fast siebartig mit Bohrbrunnen durchörtert, von denen viele im Laufe des verflossenen Jahrhunderts von neuem eröffnet worden sind. Auch die II. Mos. 17, 1—6 niedergelegte Erzählung von der »Tränkung Israels aus einem Felsen«, den Moses »mit dem Stabe schlug«, haben wir uns aller Wahrscheinlichkeit gemäß als eine Wasserbeschaffung aus einem Bohrbrunnen zu denken. Die Wüstenbrunnen der Araber sind etwa 30 m tief; in dieser Tiefe liegt eine ziemlich mächtige harte Kalksteinschicht, die mit einem einige Zoll weiten Loche durchstoßen wird, worauf aus der unteren wasserführenden Schicht ein Quell hervorspringt. Der Kunstfertigkeit der Wüstenanwohner scheint sich auch Alexander d. Gr. bedient zu haben; lesen wir doch bei Strabo (l. XV, c. 68) daß er, als er nach Gedrosien zog, vor sich her Bergleute in die Wüste sandte, welche Brunnen für das Heer graben mußten.

Auch die Sage von Herkules beschäftigt sich mit einer Tat, die man als Erschließung von artesischem Wasser deuten kann. Herkules kam danach einst an die Stelle, wo heute der Ciminische See liegt (beim Mte. Cimino, unweit von Vico in Mittelitalien), und als die Einwohner von ihm eine Kraftprobe forderten, stieß er eine Eisenstange so tief in den Erdboden, daß niemand dieselbe herauszuziehen vermochte. Dann trat er wieder hinzu und zog mit einem einzigen Ruck die Stange heraus, worauf aus der Öffnung so viel Wasser hervorquoll, daß daraus ein See entstand.

Seit mindestens 2000 Jahren ist auch in China die Bohrtechnik in Ausübung. Alles, was zum Bohrbetrieb nötig ist, z. B. den Bohrturm, die Gestänge, Futterröhren, selbst die Bohrer und die Fanggeräte, stellen die Chinesen aus Bambusrohr her. Als Motor benutzen sie Menschenkraft oder den Esel. Das Objekt, nach dem gebohrt wird, ist Sole, daneben wird das aus den Bohrungen gelegentlich ausströmende Gas zum Versieden der Sole mitgewonnen. Die Hauptindustrie auf Sole ist seit undenklicher Zeit auf die Provinz Se-chuen, der westlichsten an Tibet grenzenden Landschaft konzentriert. Die Technik des Bohrens ist folgende (nach dem Berichte des französischen Missionars M. L. Coldre (vgl. Tecklenburg, Handbuch der Tiefbohrkunde, 1893, V. Band, S. 206):

Bis aufs feste Gestein wird mit Spaten und Haue ein Vorschacht abgeteuft. Dann umrandet man das Mundloch mit Steinen, oder man setzt geradezu den Vorschacht mit durchbohrten Steinen aus, um die man gegebenenfalls noch Kleinschlag einbringt. Über dem Bohrloche wird dann in irgend einer Form ein Bohrturm mit einem Göpel und Getrieben zum Heben und Senken des Bohrgerätes, dessen Handhabung stets am Seil geschieht, gebaut.

Bei geringem Gewichte des Gerätes bewegt man dasselbe durch Arbeiter, die auf einer schiefen Ebene sitzen und am Seile ziehen. Bei

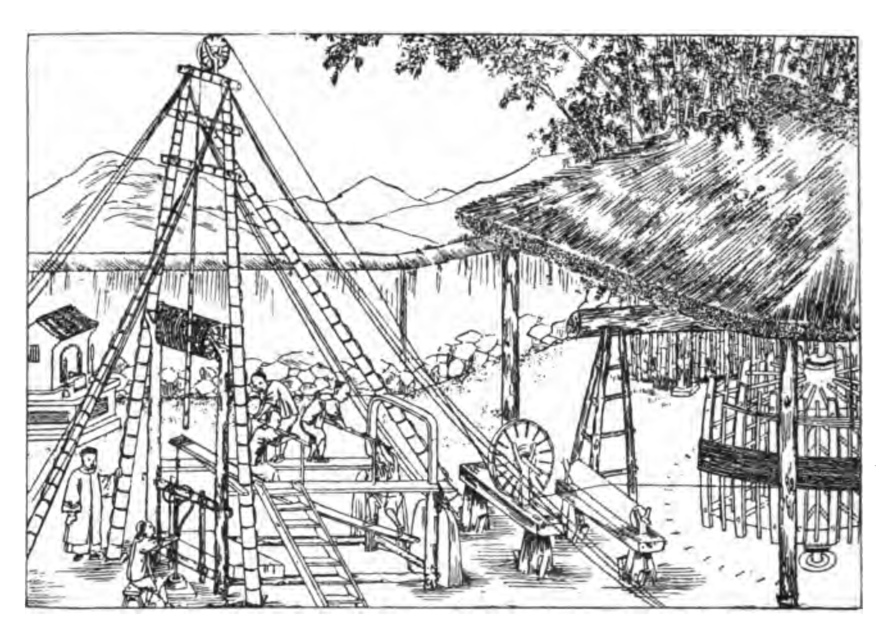


Fig. 45.

größeren Bohrungen dient zum Stoßen der Bohrschwengel, Fig. 45, den dann 2—3 Mann auf und ab wuchten, indem sie von den zu beiden Seiten befindlichen Plattformen abwechselnd auf die entgegengesetzten Enden des Schwengels springen. In der Minute erfolgen 12—15 Schläge, zu deren Ausführung bis zu zehn Mann angelegt sind, die sich von zehn zu zehn Minuten ablösen.

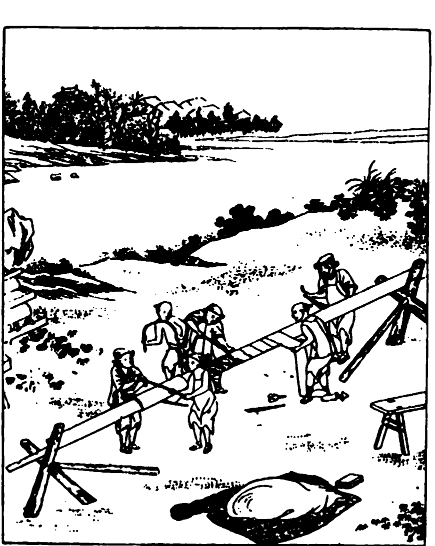


Fig. 46.

Zur Verrohrung dienen Bambusrohre, die durch Umwicklung mit Segelleinwand und Kittung mit Harz undurchlässig gemacht werden (Fig. 46). In durchlässigen Schichten wird eine wasserdichte Verbindung durch Einbringen

von Harz ins Bohrloch hergestellt, nach dessen Erhartung die Durchbohrung erfolgt.

Das Bambusseil ist etwa 1 cm dick und wird meistens auf einer an vertikaler Achse hängender Trommel aufgewunden.

In gutem Gestein teuft man in 24 Stunden zwei Fuß ab, so daß ein einzelnes Bohrloch oft drei Jahre Zeit absorbiert.

m) Markscheidekunst.

Die Uranfänge der Markscheide- und Feldmeßkunst gehen ins höchste Altertum hinauf, indem bereits bei den ältesten Menschen, so primitiv auch ihre Bedürfnisse gewesen sein mögen, sich die Notwendigkeit herausstellte, Messungen zu veranstalten, welche sich auf die Einteilung von Raum und Zeit bezogen.

Man brauchte Längenmaße, welche man durch Abschreiten gewann; man wurde gar bald auf die Erkenntnis von der Gleichheit aller rechten Winkel geführt, man lernte aus der Anschauung von Horizont, Sonne und Mond die Form des Kreises, das Himmelsgewölbe führte auf die Gestalt der Kugel, und die gesellschaftlichen Verhältnisse, welche auf den Erwerb und die Scheidung von Mein und Dein drängten, zwangen dazu, speziell für den in Anspruch genommenen Grund und Boden, Grenzen des Besitzes in einer fürs Auge sichtbaren Form festzulegen.

Damit ist der Anfang der praktischen Geometrie, von der unsere Markscheidekunde ein Spezialgebiet ist, gegeben.

Kein Land leitete mehr zur Notwendigkeit, die Grenzen des Besitzes der Einzelnen durch Messung und Zeichnung gegeneinander festzulegen, als Ägypten, und zwar, weil der alljährlich das Land überflutende Nil die Grenzen vernichtete; deshalb sehen wir auch im Nillande die Quelle der praktischen Geometrie. Für die Forschung sind uns nur sehr wenig Materialien erhalten geblieben, weil der Brand der Bibliothek von Alexandria das allermeiste vernichtet hat. Die älteste Schrift, welche uns von einer Lösung vermessungstechnischer Probleme Kunde gibt, ist der im Jahre 1872 von Eisenlohr übersetzte und herausgegebene Papyrus Rhind, der jetzt im British Museum aufgehoben ist. Er stellt eine von Aamesu von einem Original unbekannten Alters im Anfange der 17. Dynastie hergestellte Kopie dar, enthaltend Anweisungen und Übungen zum Rechnen mit bekannten und unbekannten Zahlen, u. a. auch schon Anleitung zur Ermittlung des Inhalts von gleichschenkligen Dreiecken, Trapezen und Kreisen. Hier wird der Inhalt eines gleichschenkligen

Dreiecks von Saite a und Basis b angegeben zu $\frac{b \cdot a}{2}$; ein Trapez von gleichen Schenkeln a und den parallelen Seiten b_1 b_2 hat den Inhalt $\frac{a\,(b_1 + b_2)}{2}$. Den Inhalt eines Kreises gibt der Papyrus als das Quadrat von $^8/_9$ des Durchmessers an, daraus würde für π der Wert von $\left(\frac{16}{9}\right)^2 = 3{,}1604$, also ein unserem Werte nahestehendes Ergebnis, folgen.

Das älteste Erzeugnis markscheiderischer Tätigkeit stellt der von uns bereits besprochene Papyrus des Museums von Turin dar, auf dem der Grundriß eines Goldbergwerkes zur Darstellung gebracht ist. Der »Grubenriß« stammt aus der Zeit Mineptahs, der im Beginn des 15. vorchristlichen Jahrhunderts lebte.

Die Träger der Kenntnis der Feldmeß- und Markscheidekunst waren die Priester. Bereits um 1300 v. Chr. war das Katasterwesen in vorzüglicher Weise ausgebildet, wie wir bei Herodot (II, 109) lesen können. »Es soll aber jener Herrscher (Sesostris), indem er jedem ein quadratisches Stück Feld — κλῆρος — gab, das ganze Land unter die Ägypter aufgeteilt und daraus nach Anordnung einer bestimmten Jahresabgabe seine Einkünfte gezogen haben. Wenn aber der Fluß von dem Lande jemandes etwas mitnahm, so ging er zu ihm und besah das Geschehene, dann schickte er Aufseher und Vermesser hin und ließ diese bestimmen, um wieviel das Land verkleinert war, damit jener nach Maßgabe der Abgabe, welche angesetzt war, nur von dem Restteile bezahle.«

Von den Ägyptern kam die praktische Geometrie zu den Phöniziern und Chaldäern und durch diese zu den andern Kulturvölkern. Der erste, welcher sich in Griechenland der Kunst zuwandte, war Thales von Milet (620—543), der noch im hohen Alter in Ägypten Mathematik studierte und in Griechenland durch die von ihm geschaffene Schule Außerordentliches leistete. Aus seiner Schule gingen Anaximander und Anaximenes hervor; ersterer lehrte etwa ums Jahr 550 die Griechen den Gnomon kennen, dessen man sich nicht nur zur Einteilung des Tages, sondern auch für die Zwecke der Orientierung bei den terrestrischen Messungen bediente. Dieses Instrument, bestehend aus einer auf einer hohen Säule angebrachten Scheibe mit einem zentralen runden Loch, durch welches die Stellung der Sonne als ein heller Fleck in dem Schatten der Scheibe gesehen werden konnte, kannten die Juden bereits im achten Jahrhundert — von den Babyloniern her —, wie aus Jesaias zu ersehen: »Ich will den Sonnenzeigerschatten des Ahas zehn Linien zurückziehen, über die er gelaufen ist.«

Einer der größten praktischen Geometer war Pythagoras[1]). Sokrates verachtete die Kunst; Plato brachte ihr jedoch das größte Interesse entgegen, wie schon aus der Aufschrift seines Arbeitsgemaches hervorgeht: Μηδεὶς ἀγεωμέτρητος εἰσίτω: »Kein der Geometrie Unkundiger trete hier ein.« Im dritten Jahrhundert stand Eratosthenes in größtem Ansehen (275—194) durch seine Schriften betreffend die praktische Geometrie und die von ihm ausgeführte erste Gradmessung. Diese bezog sich auf den zwischen Alexandrien und Syene liegenden Erdbogen unter der Annahme, der Lauf des Nil sei von Süd nach Nord gerichtet. Der zu dem Erdbogen gehörende Zentriwinkel wurde als Unterschied der Zenithdistanzen bestimmt, wobei als Gestirn die Sonne diente. Es war bekannt, daß zur Zeit des Sommersolstitiums die Sonne im Zenith von Syene stand, da sie sich auf dem Wasserspiegel eines tiefen Brunnens zeigte; zu gleicher Zeit wurde die Zenithdistanz in Alexandria mit Hilfe des Sonnenschattens, den ein dem Radius gleicher lotrechter Stab in einer hohlen Halbkugel gab bestimmt. Der beschattete Bogen wurde zu $^1/_{50}$ des Umfanges gefunden. Die Entfernung Alexandria-Syene wurde auf Grund der Nil- und Straßenvermessungen zu 5000 Stadien angenommen, der Erdumfang demnach zu $50 \cdot 5000 = 250\,000$ Stadien, das sind, soweit die Maßvergleichungen auf diese Bestimmungen angewendet werden dürfen, rund 46 Millionen Meter (es soll sein 40 000 000 m).

Auch den Berg- und Gestirnmessungen wandte Eratosthenes seine Aufmerksamkeit zu und meinte dabei zu finden, daß kein Berg höher als 500 Stadien sei. Die Sonne nahm er als 27 mal so groß als die Erde, die Entfernung derselben von der Erde zu 408 Myriaden Stadien, die des Mondes zu 78 Myriaden Stadien an. Auch die Schiefe der Ekliptik maß Eratosthenes, hier erhielt er das Resultat, daß der Abstand der Wendekreise sich zum Meridianumfang wie 11 : 83 verhielte. Die Messung seiner Breitegrade gibt einem um 14—15 Minuten geringeren Wert.

Bis ins zweite Jahrhundert behielten die alten Näherungsformeln in der Feldmeßkunst die Oberhand; erst Hero von Alexandrien beseitigt diese, schrieb große Abhandlungen über praktische Geometrie und Mechanik und wies namentlich der Messung mit dem Diopter einen größeren Raum zu. Als Diopter bezeichnete man jedes Instrument, durch welches man sah, z. B. nannte man das von Hipparch angegebene Instrument zur Bestimmung des Durchmessers von Sonne und Mond auch ein Diopter.

Verglichen mit diesem Apparat hatte indes Heros Konstruktion

---

[1]) 580—500; geboren zu Samos, gestorben zu Metapontum iu Oberitalien.

allgemeinere Zwecke: es war ein Instrument zur Messung beliebiger Winkel; man hat also in ihm den Uranfang des heutigen Theodoliten zu sehen. Das älteste uns bekannte Winkelmeßinstrument erlaubte nur die Absteckung von rechten Winkeln, gleicht infolgedessen dem modernen Winkelkreuze. Herons Apparat bestand im Gegensatze hierzu aus einem auf einem Pfeilerstativ zwischen zwei Trägern ruhenden Balken, welcher durch in wagerechte und senkrechte Zahnräder eingreifende Spiralschrauben in beiden Richtungen beweglich gemacht, dabei ausgehöhlt und mit einem Metallrohr ausgelegt war, zu welchem senkrecht an beiden Balkenenden vorstehende Glasröhren angebracht gewesen sind. Letztere hatten besondere Einfassungen, die mittelst Schrauben auf- und abwärts beweglich waren und in senkrechter und horizontaler Richtung Schlitze zum Visieren hatten.

Es stellt sich das Heronische Diopter demnach als eine Kombination von Winkelmeßinstrument und Kanalwage, als ein Universalinstrument dar. Zu diesem Instrument benutzte man zwei geteilte Latten, die mitten mit einem Schlitz versehen waren, in dem sich ein Zapfen bewegen konnte. Dieser konnte durch eine oben über eine an der Latte befestigte Rolle geführte Schnur auf und nieder bewegt werden und trug eine halb weiße, halb schwarze Scheibe. Die senkrechte Stellung der Latte prüfte man wie folgt: An der schmalen Längskante waren zwei Nägel so eingetrieben, daß sie genau gleich weit vorstanden. Am oberen war ein Senkel eingehängt, am unteren eine Marke zum Einspielen desselben eingeschnitten [1]).

Die Aufgaben, deren Lösung Heron mit dem nach ihm benannten Apparat vollbrachte, sind folgende:

1. den Niveauunterschied zweier Punkte zu finden;
2. zwischen zwei Punkten, die gleichzeitig nicht gesehen werden können, eine Gerade zu bestimmen (Lösung durch Konstruktion einer gebrochenen Geraden, deren Teile sich unter 90^0 schneiden);
3. die horizontale Entfernung zwischen zwei Punkten zu messen;
4. eine Flußbreite zu bestimmen;
5. es ist eine Gerade gegeben. Auf den einen Endpunkt soll man ein Lot fällen, ohne daß man sich dem Punkte nähert;
6. die Höhe eines unzugänglichen Punktes zu bestimmen;
7. den Höhenunterschied zwischen zwei unzugänglichen Punkten zu ermitteln;
8. ihre Entfernung zu messen;
9. die Lage der sie verbindenden Geraden zu bestimmen;

---

[1]) Wie aus dieser Beschreibung ersichtlich, hat sich die Beschaffenheit der Nivellierlatte seit dem Altertum nur in unwesentlichen Zügen geändert.

10. die Höhe eines Berges zu bestimmen;
11. die Tiefe eines Grabens zu bestimmen;
12. einen Berg in einer Geraden zu durchstechen, wenn an den Seiten desselben zwei Punkte gegeben sind;
13. in einen Berg einen Schacht senkrecht auf eine gegebene Strecke zu graben;
14. eine Grubenstrecke ist gegeben. Auf der Erdoberfläche sei ein Punkt so zu bestimmen, daß ein dortselbst gegrabener Schacht in einem bestimmten Punkte in die Strecke einmündet;
15. eine schiefe Ebene von gegebenem Fallwinkel zu bestimmen;
16. mit dem Diopter auf einer Linie von uns aus einen Punkt zu bestimmen, daß derselbe eine gegebene Entfernung hat;
17. von einem gegebenen Punkte aus eine gegebene Entfernung zu nehmen, ohne sich dem Punkte zu nähern und ohne eine Gerade zu haben, nach der man die Entfernung nehmen kann;
18. ein Feld mittelst des Diopters zu messen;
19. nach einem Plane ein Feld wieder einzugrenzen, dessen Grenzpunkte bis auf 2 oder 3 verschwunden sind;
20. durch Gerade von einem Punkte aus ein Feld in bestimmte Teile zu teilen;
21. ein Feld zu messen, ohne auf ihm zu sein;
22. ein Paralleltrapez oder ein Dreieck durch Parallelen in bestimmte Teile zu teilen;
23. die Fläche eines Dreiecks aus den Seiten zu ermitteln;
24. die Entfernung zweier unter verschiedenen Erdstrichen liegender Orte zu ermitteln.

Ein spezielles Interesse für uns bieten die folgenden Aufgaben Herons.

I. Einen Berg in gerader Richtung zu durchstechen, wenn die Öffnungen des Durchstiches gegeben sind. περὶ διόπτρας XV. Vgl. Fig. 47.

Die Basis des Berges sei $\alpha\beta\gamma\delta$; bei β und δ seien die Mundlöcher des Durchstichs. Von β nehme man die Gerade $\beta\varepsilon$, von ε mit dem Diopter die Gerade $\varepsilon\zeta$, ferner ebenfalls mit dem Diopter $\zeta\eta$. Von η aus werden $\eta\iota$, $\iota\varkappa$, $\varkappa\lambda$ bestimmt. Dann schiebt man den Diopter auf $\varkappa\lambda$ hin, bis sich δ zeigt; dies sei bei μ der Fall; es ist dann $\mu\delta \perp \varkappa\lambda$. Nun denke man $\beta\varepsilon$ bis ν verlängert und $\delta\nu$ senkrecht darauf errichtet; man kann dann die Länge von $\delta\nu$ aus $\varepsilon\zeta$, $\eta\iota$, $\varkappa\mu$ berechnen (vgl. Problem 2).

Sei $\beta\nu = 5\delta\nu$ gefunden, und $\beta\delta$ werde bis χ verlängert gedacht, alsdann $\chi o \perp \beta\varepsilon$ gemacht, desgleichen $\beta\chi$ bis π verlängert und $\pi\rho \perp \delta\mu$

gemacht. Also wird ebenso βo das Fünffache von $o\chi$ sein und $\delta\rho$ das Fünffache von $\rho\pi$. Haben wir nun auf $\beta\varepsilon$ den beliebigen Punkt o angenommen und $o\chi \perp o\beta$ gezogen, so hat $\beta\chi$ richtige Lage; haben wir ebenso $\pi\rho \perp {}^1/_5\,\delta\rho$, so hat $\delta\pi$ die richtige Lage nach δ zu. Man

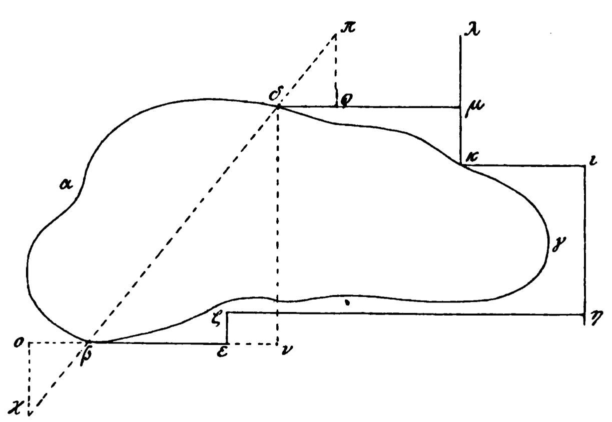


Fig. 47.

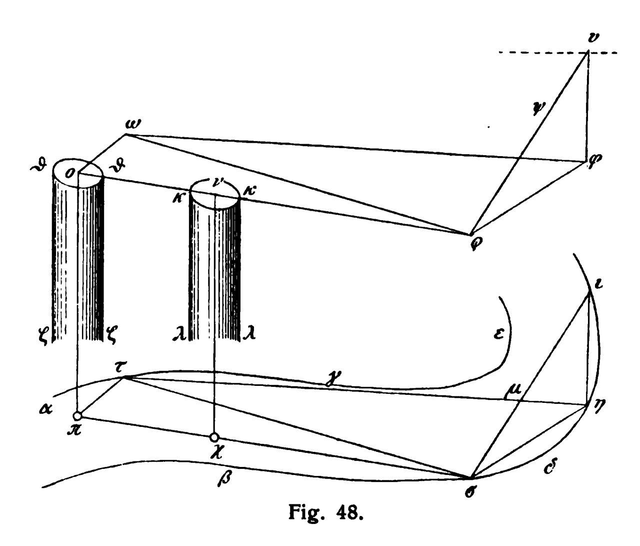


Fig. 48.

hat demnach von β aus in der Richtung nach $\beta\chi$, von δ aus in der Richtung nach $\delta\pi$ durchzuarbeiten.

II. Ist ein unterirdischer Gang gegeben, so soll man in dem darüberliegenden Boden einen Punkt finden, von wo man einen Brunnen zu graben hat, vermittelst dessen man einen bestimmten Punkt des unterirdischen Ganges treffen kann. Siehe die Fig. 48.

»Der Gang sei $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$; $\delta\zeta$ und $\varkappa\lambda$ seien die Brunnen, der gegebene Punkt in der Grube, nach dem der Brunnen gehen soll, sei μ. Durch die Brunnen läßt man nun Gewichte an Seilen $\nu\chi$, $o\pi$ herunter. Nach Einnahme der Ruhelage zieht man durch o und ν die Gerade $o\nu\rho$. Durch π und χ zieht man dann unten die Gerade $\pi\chi\sigma$; σ liege am Stoß; $o\rho$ mache man gleich $\pi\sigma$. Nun nimmt man ein genau geprüftes Seil, welches sich nicht mehr längen kann; ein Ende knüpft man in σ an, das andere in τ und von hier nach π. $\pi\tau$ und $\tau\sigma$ werden gemessen und über Tage abgetragen; es entsteht also hier das Dreieck $o\omega\rho$. Dann nimmt man einen anderen Punkt η, spannt das Seil so, daß Dreieck $\tau\sigma\eta$ entsteht, trägt dies ebenso oben ab als Dreieck $\omega\rho\varphi$, von dem $\rho\varphi = \sigma\eta$, $\omega\varphi = \tau\eta$ ist. Konstruieren wir endlich an $\sigma\eta$ ein Dreieck, so zeichnen wir dies auch an $\sigma\varphi$, bis wir nach μ kommen. Damit nicht Fehler gemacht werden, verlängern wir $\sigma\mu$ bis ι und ziehen $\iota\eta$. An $\varphi\rho$ soll das Dreieck $\varphi\rho\upsilon$ liegen mit den Seiten $\rho\upsilon = \sigma\iota$ und $\varphi\upsilon = \iota\eta$; ferner soll $\rho\psi = \sigma\mu$ gezeichnet sein. Demnach wird ψ über μ liegen. Wird also von ψ aus ein Brunnen gegraben, so kommt er, wenn er senkrecht ist, nach μ, weil die Dreiecke in der Grube und über Tage ähnlich und gleichgelegen sind. Man muß aber versuchen, horizontale Dreiecke zu zeichnen.«

Die erste Methode der Durchschlagsangabe stellt sich nach der gegebenen Beschreibung als die Bestimmung des Abstandes zweier gegenseitig nicht sichtbarer Punkte aus einem gebrochenen Linienzuge, verbunden mit der Konstruktion ähnlicher rechtwinkliger Dreiecke dar, eine Methode, die bei genauer Linienabsteckung und sorgsamer Winkelrichtung bei Zugrundelegung einer exakten Zeichnung als eine für genügende Resultate geeignetes Arbeitsverfahren bezeichnet werden muß.

Die zweite Methode, der Bestimmung des Einschlagspunktes eines Schachtes an bestimmtem Punkte dienend, ist wegen der Dehnbarkeit der Schnüre, der Ungleichheit der Meßebene, der über Tage nicht selten vorliegenden Unmöglichkeit, das Liniennetz genau analog dem unter Tage ausgespannten Zuge zu führen, und der fehlenden Winkelbestimmung mit einer Reihe von Fehlern behaftet, die ein günstiges Resultat sehr oft wohl haben vermissen lassen.

Wie man sonst (wohl nur gelegentlich?) einen Durchschlag zu erzielen versuchte, davon gibt uns Herodot (IV, 200) ein Beispiel; es heißt hier: »Als die Perser unter Amasis um 540 die hellenische Stadt Barka in Africa belagerten und dabei bis in die Stadt hinein Minen gruben, entdeckte dies ein Schmied dadurch, daß er einen ehernen Schild auf den Boden stellte und horchte, wie dieser dröhnte, wenn unter ihm gearbeitet wurde. Dort machten dann die Barkaner einen Gegengang und töteten die persischen Grubenarbeiter.«

Zum Schlusse dieses Kapitels haben wir einen Rückblick auf die Orientierung nach dem Stande der Magnetnadel zu werfen, bzw. zu sehen, ob und wieweit eine solche im Altertume bekannt war. Die Kenntnis der anziehenden Kraft des Magneteisens konnte einem Volke, bei dem dieses Gestein gefunden wurde, unmöglich verborgen bleiben, und da das Mineral in Europa und Asien an manchen Stellen gelegentlich in großen Quantitäten, vorkommt, so muß das Faktum schon sehr früh bekannt und verbreitet worden sein. Die griechischen Schriftsteller spielen auch in mehr als einer Stelle, sowohl in ihren philosophischen als ihren poetischen Werken, auf die anziehende Kraft an, und möglicherweise werden sich in den noch nicht bekannt gewordenen Schätze anderer antiker Literaturen noch mehr Hinweise auf die Bekanntschaft mit dem Magnetismus und dem Magneten ergeben.

Was die Griechen anlangt, so kennt Plato die Eigenschaft des natürlichen Magnetsteins, eine Reihe von eisernen Ringen aneinanderhängend festzuhalten, aber keine Andeutung ist bei ihm zu finden, daß man etwas von dem Polarmagnetismus des Minerals wußte; vielmehr wird das Haftenbleiben des Eisens am Magneten auf »eine gewisse göttliche Kraft« zurückgeführt.

Man hat ferner bei Aristoteles eine Notiz finden wollen, aus der seine Kenntnis von der magnetischen Richtkraft hervorgehen sollte; doch mag in bezug hierauf nur der Hinweis gegeben werden, daß die Stelle, auf die sich diese Behauptung stützt, uns nur aus einer arabischen Übersetzung bekannt ist, die sehr vieles Aristotelische mit Begriffen des Übersetzers vermischt, außerdem aber so viel Naiv-Kindliches enthält, daß sie des Aristoteles direkt unwürdig erscheint.

Außer Griechenland sind China, Arabien, Norwegen, Frankreich, Italien und England als die Länder genannt worden, in denen zuerst die Entdeckung der magnetischen Richtkraft gemacht worden sei, aber von all diesen Vermutungen haben nur die zwei einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich, daß China und Norwegen die ersten Gebiete gewesen sind, in denen die Kenntnis von den Eigenschaften des Magnetismus aufgekommen ist. Zeitlich steht die Entdeckung in China weit voraus, indem sie bereits lange vor dem Beginn unserer Zeitrechnung registriert wird.

Pater Du Halde, der lange Zeit in China lebte und nach chinesischen uralten Quellen eine »Description de l'Empire de la Chine« schrieb, berichtet darin von dem Kaiser Hoang-ti, der einem Rebellenfürsten Tchi-yeou eine Schlacht lieferte, folgendes: »Als er (Hoang-ti) bemerkte, daß bei der Verfolgung dicke Nebel sich herabsenkten und ihn an der Innehaltung des richtigen Weges hinderten, ließ er einen Wagen bauen, der ihm stets die vier Himmels-

richtungen anzeigte. Mit diesem Hilfsmittel überraschte er Tchi-yeou, nahm ihn gefangen und ließ ihn hinrichten.« Hoang-ti war der dritte Herrscher der ersten Dynastie, und das beschriebene Ereignis fällt nach Klaproth (lettre à Mr. A. v. Humboldt, sur l'invention de la boussole, Athenaeum No. 396. 1836) in das Jahr 2634 v. Chr. Über die Konstruktion dieser Fahrzeuge mit orientierender Magnetnadel berichtet eine chinesische Chronik, daß der Kaiser Hiang-tsoung aus der Thang-Dynastie, der 806—820 regierte, den Plan zum Bau dieser Apparate festlegte. »Inmitten eines kleinen Pavillons, an dessen vier Ecksäulen Holzdrachen zur Verzierung angebracht waren, befand sich eine kleine Holzfigur. Die ausgestreckte rechte Hand dieser Figur deutete stets nach Süden, wohin sich auch der Wagen wenden mochte.« Unter der Holzfigur war eine sich von N. nach S. einstellende Magneteisenmasse oder eine Nadel angebracht. Szu-ma-thsiou, der in der ersten Hälfte des zweiten Jahrhunderts unserer Ära nach einer großen Anzahl von authentischen chinesischen Quellen seine Szu-ki oder Memoiren sammelte, berichtet aus dem Jahre 1040 v. Chr., daß der kaiserliche Minister Tcheou-kong einer Gesandtschaft der »Yue-chang-chi, die im Süden von Kivo-tchi wohnen« (Tonkin und die nördliche Partie von Cochinchina ist gemeint) beim Abschiede fünf Magnetwagen mitgab, die stets den Süden anzeigten. Die Gesandten bestiegen die Wagen, erreichten die Küste des Meeres mit ihnen und kamen ein Jahr später in ihrer Heimat an.

Im Jahre 235 errichtete der Kaiser Kian-king den Thsoung-houa-tian-Palast, ein Museum, in dem er eine Unmasse von Seltenheiten sammeln ließ, von neuem aus den Trümmern und ließ auch den Gelehrten Ma-kiun einen den Süden anzeigenden Wagen bauen bzw. rekonstruieren.

Aus diesen Daten geht hervor, daß den Chinesen bereits sehr zeitig die Orientierung mittelst des Magnetismus bekannt war, und zwar kannten sie nicht nur die Fähigkeit des natürlichen Magneteisensteins, zu orientieren, sondern auch die Fähigkeit des Eisens, durch Streichen oder Nebenaneinanderliegen mit einem natürlichen Magneten von diesen die Attraktionskraft anzunehmen. Daß dies letztere der Fall war, geht aus den folgenden Stellen hervor: Im Lexikon des Hiu-tchin (121 n. Chr.) wird der Name eines Steins erwähnt, »mit dem wir der Nadel Richtkraft geben« (er heißt Tshu-chy = Liebesstein, Tchu-chy = leitender, weisender Stein, Hy-thy-chy, der Stein, der Eisen anzieht).

Unter der von 265—419 regierenden Tsin-Dynastie sagt das große Lexikon Poi-wen-yun-fon: »Sie hatten Schiffe, die ihren Kurs mit der magnetischen Nadel lenkten.«

Dasselbe Werk zitiert eine Stelle aus einem im elften Jahrhundert

verfaßten Buche: »Die Wahrsager reiben die Spitze einer Nadel mit dem ‚Liebesstein', um ihn zur Anzeige der südlichen Himmelsrichtung geeignet zu machen.«

Welches war nun die Beschaffenheit der eigentlichen Kompasse der Chinesen? Man magnetisierte eine eiserne Nadel, steckte sie durch ein winziges Stäbchen von Binsenmark und ließ sie auf Wasser schwimmen, oder aber man hängte die Nadel mittelst eines feinen Knötchens Wachs an einen dünnen Faden und ließ dieselbe dann an einem windfreien Orte ruhig schwingen. Die Windrose wurde in 8, 16, 24 Teile zerlegt; die Namen dieser Teile sind nicht immer die Namen der Winde, obwohl sie dafür angewandt werden, vielmehr meist die Namen von Zeitabschnitten. Außer diesen Einteilungen und Bezeichnungen hatten sie allerdings noch eine Reihe anderer, deren Bedeutung, vermutlich astrologischem Gebiete angehörend, uns und jedenfalls auch den modernen Chinesen größtenteils unbekannt ist. Das Gehäuse der Kompaßnadel bestand aus Holz und enthielt die Richtungsbezeichnung auf dem Boden.

So sicher nun die Konstruktion und die Existenz dieser Instrumente bezeugt ist, und so unzweifelhaft auch deren Anwendung im Seewesen und selbst beim Bauwesen ist — die Mauern von Peking sind in Nord-Süd-Richtung gebaut, und zwar um 3° 30′ vom astronomischen Meriadian nach Südosten abweichend, entsprechend der damals (Ming-Dynastie 1384—1644 n. Chr.) herrschenden Deklination —, so wenig wissen wir Positives von der speziellen Anwendung des Kompasses beim Bergwesen. Wir sind hier vollkommen auf Vermutungen angewiesen; es läßt sich aber kein Grund angeben, weshalb bei dem Bekanntsein der Apparate und Erscheinungen dieselben nicht auch für die bergmännischen Zwecke bereits bald nach ihrer Erfindung benutzt worden sein sollten.

Aus Japans Bergwesen ist uns eine Anwendung des Setzkompasses in der unterirdischen Vermessung ausdrücklich durch die Rollbilderpublikation Treptows bezeugt[1]), die aller Wahrscheinlichkeit gemäß Gegenstände und Arbeiten aus der ältesten Zeit des japanischen Bergwesens zur Darstellung bringt, wobei zu bemerken bleibt, daß Japan seinen Bergbau aus dem »Reiche der Mitte« bekommen hat.

Zur Messung von Längen haben die Chinesen und Japaner Bambusstäbe mit Einteilung benutzt bzw. bis auf den heutigen Tag noch in Gebrauch. Welches Hilfsmittels sie sich zur Messung von Neigungswinkeln bedienten, ob ihnen die Wasserwage oder ein dem Gradbogen ähnliches Instrument bekannt war, wissen wir aber nicht.

[1]) Treptow, Altjapanisches Berg- und Hüttenwesen. Freiberg 1904.

II.

Die Aufbereitungstechnik.

Fast auf allen antiken Bergwerksplätzen scheint die Ausführung der Anreicherungsmanipulationen vorwiegend in der Hand von alten Leuten, Frauen und Kindern gelegen zu haben; nur aus dem laurischen Bergbaubezirke kennen wir eine besondere Klasse von männlichen Arbeitern, die bei der großes Geschick erfordernden Handsonderung tätig waren, und die als τεχνίτης bezeichnet werden (Diodor III, 12; Platon, d. Staatsmann 303 E).

Der Anreicherungsprozeß begann, wie wir bereits bei der Förderung hervorhoben, in der Grube in der Nähe des Förderschachtes, wo in einer größeren Kammer eine Ausschlägelung der größeren Gesteinsbrocken vorgenommen wurde, um bei der Fortschaffung der Erze die Last möglichst zu erleichtern.

Diese Handscheidung wurde über Tage fortgesetzt und daran der weitere Prozeß angeschlossen, dessen allgemeinen Gang uns u. a. Plinius (XXXIII. 4. 21) und Hippocrates (I, 4) als eine Aufeinanderfolge von mehrmaligem Zerstampfen und Auswaschen schildern, deren letztem dann das Ausschmelzen folgte.

In manchen Fällen scheint man das Haufwerk vor dem eigentlichen Anreicherungsprozesse geröstet zu haben, um das Gestein mürbe zu machen und seine mechanische Bearbeitung zu erleichtern.

Von dem Mitterberger Kupferbergbaue sind durch Much solche Röstplätze bekannt geworden, die sich schon dem äußeren Anblick durch den spärlichen Pflanzenwuchs vor allem anderen präsentieren. Hier fanden sich zahlreiche Kohlenreste und rostbraune Färbungen der Erde, herrührend von dem zerfallenen Spateisenstein, der in den Mitterberger Erzen den Hauptbestandteil bildet.

Die Rösteinrichtung muß höchst primitiv gewesen sein; vielleicht überließ man die Erze nur in freien, oder allenfalls ringsum mit Steinen eingefaßten Haufen der zerfallenden Einwirkung der Hitze, die wenigstens den in den Erzen stark vertretenen Schwefel zum Teil entfernte.

Von den Römern sind Röststätten (nach v. Leonhard, Beiträge z. mineral. u. geol. Kenntnis des Hzt. Baden, II, S. 49) aus einem ausgedehnten Eisenwerk am Hagenschießwalde am Wurmflusse bei Pforzheim bekannt geworden. Hier waren einfache Stadel aus niedrigem Mauerwerk aufgebaut.

Etwas Genaueres wissen wir über die Rösteinrichtungen der alten Japaner nach den von Treptow publizierten japanischen Rollbildern (Altjapan. Bgb. u. Hüttenbetrieb. 1904). Es wird eine Art einfacher Kiln von quadratischem Querschnitt mit abgerundeten Ecken benutzt; an der einen Seite ist er mit Luftöffnungen versehen. Aus Bruchsteinen und Lehm aufgemauert, haben die Apparate etwa 1¼ m Seitenlänge bei zirka 1 m Tiefe. Auf ein Bett von Holzscheiten wird etwas Reisig ausgebreitet, darauf der Erzschliech gestürzt und dann wieder eine Decke von Holz und Reisig aufgegeben. Nach dem Anzünden wird das Ganze sich selbst überlassen, bis das Ausbrennen vollendet ist. Darauf wird das geröstete Gut mittelst eines an Schnüren aufgehängten Siebes gesiebt.

Von den Indianern des Oberen Sees ist übrigens ein ähnliches Mittel angewendet worden, um einen rascheren Zerfall des das Kupfer umgebenden Gesteins einzuleiten. An den Ausgängen der Baue fand man nämlich (siehe Essener »Glückauf« 1879, Nr. 58) eine große Anzahl von seichten Erdlöchern, welche mit Überresten von Holzkohle ausgefüllt waren, während in der allernächsten Umgebung Massen von Gesteinsschutt und steinernen Werkzeugen umherlagen. Diese Umstände deuten darauf hin, daß man die losen, metallführenden Blöcke zuerst erhitzte und dann durch Aufschütten von Wasser einer schnellen Abkühlung und damit einer Zerklüftung aussetzte. Mit Hilfe von Werkzeugen war es dann ein Leichteres, das Kupfer aus dem umgebenden Gestein auszulösen.

Das durch Rösten vorbereitete oder auch nur durch die Handscheidung in der Grube angereicherte Haufwerk kam alsdann in die eigentliche Aufbereitungsanlage zur Zerkleinerung.

Eine Vorzerkleinerung wurde auf Steinplatten mit steinernen oder metallenen Schlägeln vorgenommen; die definitive Aufschließung wurde dann auf Handmühlen oder in Mörsern vollzogen. Nach jedem Zerkleinerungsprozesse wurde das Material einer Durchmusterung von Hand unterzogen, welche im allgemeinen im Altertum bis zu Korngrößen fortgesetzt wurde, die man in unserer Zeit ausnahmslos der separierenden Wirkung des Wassers im Setzprozesse aussetzt. In Laurion z. B. sonderte man noch Korngemenge von 5 mm Durchmesser von Hand.

Da die Tröge aus sehr hartem Material bestehen mußten, war man oft genötigt, sie aus großen Entfernungen herbeizuschaffen. Die

Ägypter benutzten ihre vorzüglichen Granite; der laurische Aufbereitungsbetrieb bezog seine Mörsersteine, wie Kordellas (Hüttenindustrie von Laurium, S. 31) nachgewiesen, von Melos; sonst benutzte man Grauwacke, harten Kalk, Porphyr, Diorit, dichte Lava dazu. Die Bewegung des Schlägels geschah meistens von Hand, nur die Chinesen und Japaner haben sich seit undenklicher Zeit zum Zerkleinern eines Schwanzhammers bedient, einer im übrigen in Ostasien auch zum Schälen des Reises weitverbreiteten Vorrichtung.

Der Schwanzhammer ist in einem kleinen starken Bocke aus Holz verlagert; der Kopf des Hammers wird unter Umständen noch mit einem Steine beschwert. Der den Apparat bedienende Arbeiter (oder die Arbeiterin) stützt sich mit der einen Hand auf den Hammerbock und tritt mit dem einen Fuße auf das rückwärtige Ende des Hammerstieles; in der einen freien Hand führt der Arbeitende einen Stab, mit dem das in einer schalenartigen, wohl meistens mit Steinen aus-

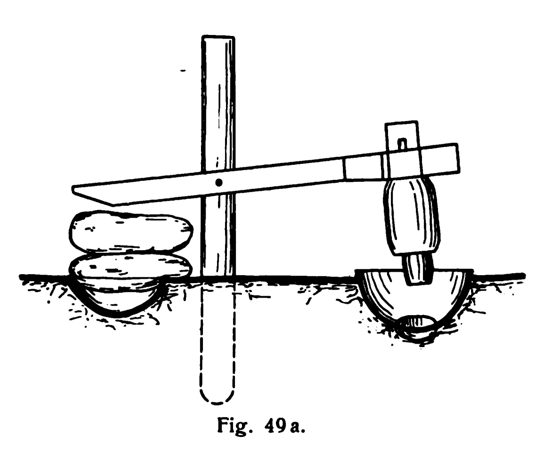


Fig. 49 a.



Fig. 50.

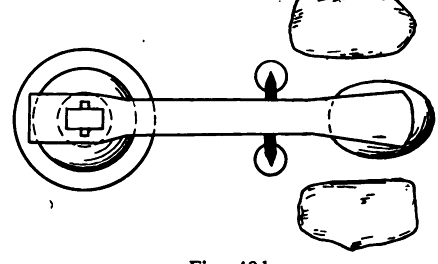


Fig. 49 b.

gelegten, Vertiefung befindliche Erz umgerührt wird, bevor der Hammer zum Fallen freigegeben wird.

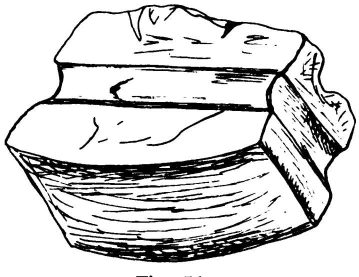
Die Figuren 49 und 50 verdeutlichen den Apparat und das Verfahren. Die erste Figur ist aus den Transact. of American Inst. of Min. Eng. 1891 (Henry Louis, Chinese system of Goldmilling, Paper read at Glen Summit Meeting) entnommen; sie zeigt den Apparat in Auf- und Grundriß; die zweite ist nach Treptow (Altjapan. Bergb.- u. Hütten-

betrieb Taf. III) reproduziert und stellt die oben in ihrem Verlauf beschriebene Arbeit an demselben dar.

Die erste Darstellung gibt eine Einrichtung wieder, die von den Chinesen im Distrikte von Tomoh, einem der siamesischen Malayenstaaten, in Anwendung gebracht worden ist.

Die den Alten zur Verfügung stehenden Mittel zur endgültigen Zerkleinerung sind, nach dem Grade des Fortschrittes geordnet, Reibplatten, Mörser, Mühlen.

Reibplatten, über die an einem Stiele ein unten gerundeter Reibstein aus gleich hartem und zähem Material reibend und wälzend hin und her bewegt wurde, hat Much auf den Halden des vorgeschicht-



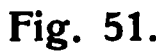


Fig. 51.

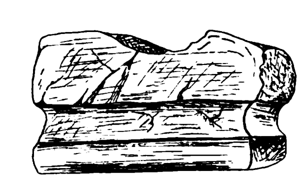


Fig. 52.

lichen Bergwerks am Mitterberge aufgelesen. Die Gestalt der Reibsteine ist aus den Figuren 51 und 52 deutlich ersichtlich.

Mörser, ἀγγεῖα λιθινα, ὅλμοι λίθινοι, sind in einer Reihe Exemplaren an laurischen Aufbereitungsstätten gefunden worden. Sie bestehen, wie die anderweitigen Reibplatten, aus einem sehr harten Trachyt und haben die Gestalt eines Fingerhutes mit dicker Wand und flachem Boden. Ihre innere Tiefe beträgt 40—60 cm, ihre äußere Höhe 60—80 cm, die obere äußere Breite ebensoviel.

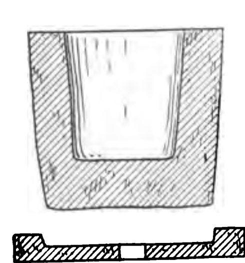


Fig. 53.

Zuweilen sind sie mit einem Deckel aus dem gleichen Material versehen, der in der Mitte zum Einstecken des — in den meisten Fällen eisernen — Pistils durchbrochen war. Fig. 53 stellt einen laurischen Mörser mit Deckel dar (nach Ardaillon a. a. O., S. 61, Fig. 18).

Die Arbeit am Mörser beschreibt Diodorus (III, 13) mit den Worten: ἐν ὅλμοις λιθίνοις τύπτουσι σιδηροῖς ὕπεροις — in mortariis saxeis pilis ferreis contundunt.

Handmühlen, die meist von alten Männern und Weibern gedreht wurden, nennt u. a. Diodorus bei den alten Ägyptern, und zwar

bei Gelegenheit der Beschreibung des Goldbergbaus (III, 13). Ihre Einrichtung, aus zwei übereinanderliegenden scheibenförmigen Steinen bestehend, von denen der obere gedreht wurde, ist bereits von Babylonien her den Israeliten bekannt gewesen, wie aus V. Mos. 24, 6 erhellt, wo es heißt: »Du sollst nicht zum Pfande nehmen den untersten und obersten Mühlstein.« Diese alten Mühlsteine waren sehr klein, da sie von den homerischen Helden im Kampfe mit den Händen geworfen werden konnten. Ihre Form hat sich durch Jahrhunderte hindurch erhalten und war auch bei den Römern in Anwendung. Nach Varro (mitgeteilt bei Plinius, hist. nat. XXXVI, 29) sollen die drehbaren Mühlsteine übrigens zu Volsinii erfunden sein, woselbst man auch einige mit Wasserkraft angetriebene gefunden habe — anders ist wohl der Text: aliquas et sponte motas invenimus, nicht zu nehmen, da die Windmühlen zuerst in Deutschland aufgekommen sind, andererseits Plinius wohl einen Antrieb durch Tiere ausdrücklich genannt haben würde.

Daß man, ähnlich wie zum Getreidemahlen, auch in den Erzmühlen tierische Kraft zu Hife nahm, indem man über dem oberen Läuferstein einen Querbalken befestigte, an dessen unterem Ende eine Gabeldeichsel zum Anspannen angebracht war, darf als sicher angenommen werden. Ebenso ist es höchstwahrscheinlich, daß man, gleich wie man bei der Steinindustrie die Kraft des Wassers durch Anschluß der Spaltwerke an ein Wasserrad ausnutzte (vgl. Ausonius' »Mosella«, wie oben zitiert), auch im Aufbereitungswesen dieses Hilfsmittel anwandte, zumal bei fortschreitender Vervollkommnung des ganzen technischen Bergbaubetriebs — Anwendung von Gebläsewind — die Abhängigkeit der Erzverarbeitung von dem im Gebirge gelegenen Mineralfundorte mehr und mehr in den Hintergrund trat.

Exemplare von römischen Erzmühlen sind noch vorgefunden worden, z. B. zu Abrudbánya in Siebenbürgen und in den Pyrenäen. Köleser beschreibt sie in seinem 1717 erschienenen Werke: de Keres-eer auraria Romano-Dacica; Cibinii, p. 76, wie folgt: »Vidi Abrudbányae in valle Corna tale mortarium metallicum, supra fundum, aliquot digitis transversalibus perforatum, fundo crassiore et prominente.« M. de Genssane sagt in seinem Traité de la fonte des mines par le feu du charbon de terre, Paris 1770 (2 vol. 4to) I, p. 14 von den römischen Werken: ». . . ils faisoient passer leur mineral par des moulins à bras, tout-a-fait semblables à nos moulins à moutarde ou aux moulins, dont on fait usage pour séparer l'argent de quelques mines par le voie de mercure. J'ai vu un nombre de ces meules aux Pyrénées, et j'en conserve deux très-entières du nombre de celles que nous y avons trouvées.«

Ganz entsprechend gebauter Mühlen bedienten sich die Chinesen und Japaner in ihren Aufbereitungsstätten. Sie sind bei Netto, Japan. Berg- und Hüttenwesen, Mitt. d. deutsch. Ges. f. Völkerk. Ostasiens II, 1879, abgebildet; auch Treptow reproduziert sie so wie Fig. 54a—c zeigt (zwei Exemplare befinden sich u. a. im Münchener ethnographischen Museum). Die Mahlflächen sind in Sektoren geteilt und nach verschiedenen (tangentialen) Richtungen gefurcht. Der in den Unterstein *B* eingelassene, dem Oberstein *A* Führung gebende Zapfen *d* besteht aus hartem, mit Bandeisen verstärktem Holze. In eine Vertiefung des Läufers ist eine seitliche hölzerne Handhabe *a* eingelassen. Die obere

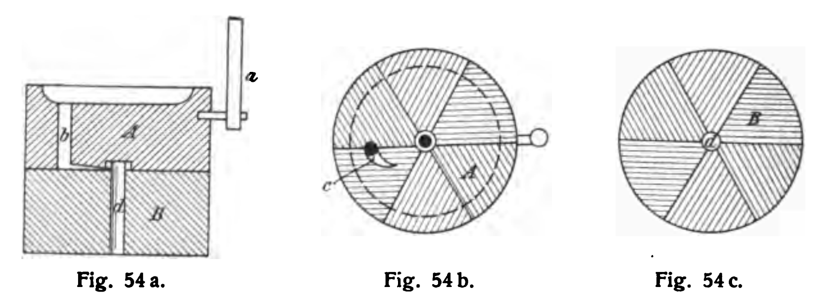


Fig. 54a. Fig. 54b. Fig. 54c.

Fläche ist zur Aufnahme des zu zerkleinernden Gutes muldenförmig vertieft; als Eintrag dient eine exzentrische senkrechte Durchbohrung *b* von etwa 2 cm Weite, deren untere Mündung (bei *c* in der Figur) nach der dem Drehen entgegengesetzten Seite etwas erweitert ist. Das Material wird unter Zufluß von Wasser aufgegeben; das zerkleinerte Gut tritt zwischen den Steinen aus. Die Handhabung der Mühle geschieht so, daß 1—2 Mann das Eintragen besorgen, während die Drehung des Läufers durch weitere vier Mann mittelst Schubstange vollzogen wird. Diese ist einerseits über die abgebildete Handhabe *a* gesteckt, am anderen Ende mit einer Querstange zum Angreifen versehen.

Im laurischen Bezirke gelangte man durch die aufeinanderfolgenden Zerkleinerungsoperationen bis auf die Größe eines Hirsekornes (κὲγχρος), daher man mit κεγχρεών geradezu die Zerkleinerungsanlage bezeichnete (z. B. bei Pollux VII, 90).

Nach dem mit einer fortdauernden Ausscheidung des Tauben Hand in Hand gehenden Zerkleinern unterzog man die Erze einem weiteren Anreicherungsprozesse, den das Altertum ebenso wie die deutsche Sprache als Waschen, lavare, πλύνειν, καθαίρειν, bezeichnet.

In Laurium haben sich an hundert Erzwäschen bald mehr, bald weniger gut erhalten, so daß wir uns am besten aus diesen Resten über den Stand der Dinge unterrichten und dabei das von anderen